

ПРОБЛЕМЫ
РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОЛОГИИ
ЗАПАДА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ И СМЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Материалы
II Международной научной конференции

Республика Беларусь
Минск, 16 февраля 2021 г.

МИНСК
БГУ
2021

УДК 55(06)
ББК 26.3я431
П78

Редакционная коллегия:

О. В. Лукашёв (гл. ред.),
В. И. Зуй, *А. Ф. Санько*, *Г. И. Литвинюк*,
Д. Л. Творонович-Севрук, *О. В. Силицкая*

Рецензенты:

кандидат геолого-минералогических наук *В. М. Шиманович*;
кандидат физико-математических наук *В. Н. Кузьмин*

Проблемы региональной геологии запада Восточно-Европейской платформы и смежных территорий : материалы II Междунар. науч. конф., Респ. Беларусь, Минск, 16 февр. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: О. В. Лукашёв (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – 298 с.
ISBN 978-985-881-225-6.

Представлены результаты исследований ученых, преподавателей и студентов вузов Беларуси, Сербии, Украины, Польши, России по проблемам региональной геологии, минералогии и петрографии, геохимии.

Адресуется широкому кругу исследователей – геологам, геохимикам, геоэкологам и студентам геологических и географических специальностей.

УДК 55(06)
ББК 26.3я431

ISBN 978-985-881-225-6

© БГУ, 2021

УДК 556.3:556.5:550.46

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ГИДРОСФЕРЫ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЕВРОПЫ

М. Милинчич¹, С. К. Мустафин², А. Н. Трифонов³

¹Белградский университет, факультет географии, Студенческая площадь 3/III,
11000 Белград, Республика Сербия; miroljub.milincic@gef.bg.ac.rs

²Башкирский государственный университет, географический факультет, ул. Карла Маркса 3/4,
450008 Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация; sabir.mustafin@yandex.ru

³Ленинградский государственный университет, факультет естествознания, географии и туризма,
Петербургское ш. 10, 196605 Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация; tan-geo@mail.ru

Рассмотрены основные региональные геоэкологические аспекты трансформации гидросферы трансграничных речных бассейнов Европы – Дуная (Черноморский) и Вуокси (Балтийский). Характеризуется состояние трансграничных подземных вод Среднего Дуная (Сербия), анализируется спектр загрязнителей гидросферы регионов.

Ключевые слова: трансграничный перенос; речной бассейн; донные отложения; подземные воды.

Сегодня на территории 286 трансграничных речных бассейнов нашей планеты расположена 151 страна с общим населением численностью 2,8 млрд человек. Трансграничные речные бассейны объединяют страны, предопределяя их общее будущее, поддерживают социально-экономическое развитие и благосостояние человечества, служат средой обитания значительной части мирового биологического разнообразия.

Для многих государств зоны ответственности Европейской экономической комиссии Организации Объединённых Наций (ЕЭК ООН) трансграничные воды играют ключевую роль. Более 40 % европейской и азиатской площади региона ЕЭК ООН занимают бассейны трансграничных вод, являющиеся территорией проживания более 50 % европейского и азиатского населения региона.

В данной статье рассматриваются региональные геоэкологические аспекты состояния и динамики трансформации трансграничных бассейнов р. Вуокса (водосборный бассейн Балтийского моря) и сербской (Среднего) части речного бассейна Дуная, относящегося к водосборному бассейну Чёрного моря.

Река **Дунай** (длина 2 857 км) берет свое начало на юго-западе Германии, протекает по территории 10 стран и впадает в Чёрное море на территории Румынии. Площадь бассейна р. Дунай, равную 817 000 км² (10 % территории континентальной Европы), делят 19 государств.

Дунай – вторая река в Европе (после р. Волги) по протяжённости и площади водосбора.

Бассейн Дуная на севере граничит с бассейнами рр. Везер, Лаба (Эльба), Одра (Одер) и Висла, на северо-востоке – с бассейном р. Днестр, на юге – с бассейнами рек Эгейского и Адриатического морей, на западе и северо-западе – с бассейном р. Рейн.

При общем падении Дуная от слияния Бреге и Бригах составляющем 678 м; средний уклон равен 25 см/км. Расход воды у Измаильского Чатала в среднем составляет 6 500 м³/сек (около 205 км³/год).

80 % населения бассейна Дуная обеспечивается питьевой водой за счёт подземных вод, а для Австрии, Германии, Словении, Хорватии и Венгрии этот показатель достигает 90–95 %.

По комплексу геологических и физико-географических признаков бассейн р. Дунай разделяют на три части: Верхний Дунай – от истоков до Гёню, Средний Дунай – от Гёню до выхода из Железных Ворот; Нижний Дунай – от Железных Ворот до устья.

Средний Дунай (1 791–931 км) в основном течёт по Большой Средне-Дунайской низменности и носит характер равнинной реки за исключением участков Вышеградских и Железных Ворот.

Долина р. Дунай на равнинных участках широкая (5–20 км) с развитыми пойменными террасами, изрезанными лабиринтом второстепенных рукавов; дно преимущественно песчаное, русло с низкими пологими берегами.

На участке прорыва реки через горы долина Дуная сужается (0,6–2,5 км), берега русла и склоны долины высокие, местами скалистые; дно каменистое, в русле выступают пороги.

Наименьшая ширина русла в 210 м отмечается в ущелье Казаны (Железные Вороты).

Скорость течения Среднего Дуная из-за резких колебаний уклона русла, изменяется в широких пределах и составляет при средних уровнях воды на участке Гёню–Белград – 3,6–4,8 км/час, на участке Белград–шлюз Железные Вороты – 0,4–3,0 км/час, шлюз Железные Вороты–Турну-Северин – 6,5–9,0 км/час.

Для бассейна Среднего Дуная характерен засушливый континентальный климат с летом продолжительностью 4,5–5 месяцев, средней температурой июля 20–23 °С (максимальной – до 39 °С), что в сочетании с невысокой влажностью и незначительным количеством осадков создает условия для возникновения засухи.

Питание р. Дунай происходит за счёт таяния высокогорных снегов, жидких осадков и грунтовых вод. Притоки Среднего Дуная приносят воду от весеннего снеготаяния в Карпатах (р. Тиса), жидких осадков летом. Осенью и зимой Средний Дунай питается подземными водами.



Рисунок 1 – Распределение трансграничных подземных вод в юго-восточной Европе [12]

В табл. 1 приведены основные геологические данные, характеризующие литотипы, возраст, мощность водоносных горизонтов трансграничных гидродинамических систем и структуру использования подземных вод населением Сербии и сопредельных государств (рис. 1).

Таблица 1 – Трансграничные подземные водоносные горизонты Среднего Дуная (Сербия) [12]

Площадь, км ²	Связь с поверхностными водными системами, направление подземного водотока	Использование подземных вод
Юго-западный подземный водоносный горизонт Бака/Дунай		
Сербия – 441, Хорватия – н/д	Тип 3; эоплейстоценовые аллювиальные средне- и грубозернистые песок и гравий, толщиной 20–45 м; средние связи; основное направление водотока из Сербии в Хорватию.	50–75 % ресурсов для питьевого водоснабжения, <25 % – для ирригации, промышленности и скотоводства.
Подземный водоносный горизонт или междуречья Бака/Дунай–Тиса		
Сербия – 5 648, Венгрия – 4 065	Входит в состав Северо-Паннонского бассейна; аллювий миоцена и эоплейстоцена; средние и сильные связи; основное направление подземного водотока – из Венгрии в Сербию.	Подземные воды – 80 % общего водопотребления в сербской части и >80 % общего водопотребления в венгерской части. Для питьевого водоснабжения >75 %; для ирригации, промышленности и скотоводства <25 %.
Подземный водоносный горизонт Северного и Южного Баната или Северного и Среднего Баната		
Сербия – 2 560, Румыния – 11 393	Тип 4; третичные и плейстоценовые пески и гравий толщиной до 2 000 м перекрытые четвертичными озёрно-аллювиальными отложениями Паннонского бассейна; слабые связи; основное направление подземного водотока – из Румынии в Сербию.	Распределение воды по пользователям: 50 % – питьевая, 30 % – промышленность, 20 % – орошение.
Подземный водоносный горизонт Срем–Западный Срем/Сава		
Сербия – 627, Хорватия – н/д	Тип 3; плиоценовые и эоплейстоценовые пески, гравийные пески и гравий; средние и сильные связи; глубокие участки илы и глины направление подземного водотока из Сербии в Хорватию.	50–75 % питьевое водоснабжение, промышленности и животноводства; около 70 % всего водоснабжения.
Подземный водоносный горизонт Лим		
Сербия – 700 (~150 – карстовые водоносные горизонты), Черногория – н/д	Тип 1; триасовые карстовые известняки и доломиты перекрыты непроницаемым диабазово-кременистым пластом, трещиноватый водоносный горизонт в перидотите, в триасовых обломочных породах, четвертичный аллювий; средние связи.	60 % воды приходится на бытовые нужды, 12 % – на сельское хозяйство, 12 % – промышленность, 10 % – энергетику и 6 % – на прочие нужды. 40 % от общего объёма водопотребления приходится на подземные воды.
Подземный водоносный горизонт Массив Тара		
Сербия – 211, Босния и Герцеговина – >100	Тип 3; триасовые и юрские карстовые известняки, сильные связи с поверхностными водными системами, направление подземного водотока из Сербии в Боснию и Герцеговину.	80 % подземных вод используется на нужды питьевого водоснабжения, 10 % – на нужды орошаемого земледелия; также на поддержание рыбноводства и экосистем.
Подземный водоносный горизонт Мачва-Семберия		
Сербия – 967, Босния и Герцеговина – 250	Тип 3; четвертичные аллювиальные гравий, песчаный гравий, пески с линзами глин (35–60, 75–100 м); водоток отсутствует. Терминеральный горизонт: Тип 4; мезозойские известняки, >1 009 м; сильные связи.	Подземные воды составляют 40–60 % от общего водопотребления в сербской части и 100 % – в Боснии и Герцеговине. 50–75 % питьевое водоснабжение, <25 % на ирригацию, промышленность, животноводство, поддержание экосистем.
Подземный водоносный горизонт Стара Планина/Салаша Монтана		
Сербия – 100–200 (400), Болгария – 100–200 (400)	Тип 2; Триасовые и меловые карстовые известняки с четвертичными аллювиальными наносами; средние связи; направление водотока из Болгарии в Сербию.	Составляют 50 % всей воды, используемой в сербской части; 25–50 % для питьевого водоснабжения, <25 % на орошение, промышленность, термальные источники и животноводство.

В настоящее время мониторинг водных ресурсов сербской части обоих водохранилищ осуществляется Администрацией Железных Ворот, и включает 9 отдельных субпрограмм, обеспечивающих мониторинг следующих факторов: (I) расход реки и подпорный уровень; (II) уровень грунтовых вод и функционирование дренажных систем; (III) режим и образование отложений; (IV) ледовый режим; (V) меры сохранения сельскохозяйственных угодий; (VI) леса и водно-болотные угодья; (VII) структуры паводкового контроля; (VIII) качество водных ресурсов и отложений; и (IX) устойчивость берегов и противооползневые мероприятия. Специалисты разрабатывают системы мониторинга, соответствующие положениям Рамочной Директивы по водным ресурсам. Следует отметить, что решению геологических задач посвящены 4 субпрограммы из 9.

Важно, как показано в Первой оценке, рассмотреть следующие аспекты: характеристику трансграничных водоносных горизонтов; виды их использования и функции; забор и использование подземных вод; проблемы, связанные с количеством и качеством подземных вод; данные о проявлении трансграничных последствий и меры по управлению подземными водами в отношении трансграничных водоносных горизонтов. Информация представленная в табл. 1, показывает насколько сложна и неоднородна система трансграничных водоносных горизонтов Среднего Дуная; геологические особенности определяют условия мониторинга.

Примером сотрудничества стран в области сохранения качества и управления использованием трансграничных бассейнов являются Железные ворота, в геологическом отношении расположенные в районе окончания Карпат и начала Балкан.

Джердап I или Железные ворота I – самая крупная гидроэлектростанция на Дунае на границе Сербии и Румынии, в сужении Железные ворота в 943 км от устья.

Таблица 2 – Тяжёлые металлы (ТМ) в донных отложениях водохранилищ Железных Ворот, мг/кг [11]

Элемент	Железные Ворота I	Железные Ворота II
Fe	33 184,1	–
Al	13 871,5	51 440,6
Pb	1 382,6	885,8
Mn	891,8	–
Zn	310,4	385,2
As	141,2	66,6
Ni	125,0	127,7
Cu	111,0	97,8
Cr	80,3	127,2
Cd	1,92	1,90
Hg	0,12	0,30

Сербские специалисты провели целенаправленное исследование наличия ТМ в образцах осадочных отложений, взятых в 2009 г. со дна водохранилища приблизительно в 50 км вверх по течению от плотины Железных Ворот I (место, где был выявлен максимальный объём наносов).

Результаты мониторинга элементного состава донных отложений, проведённого исследователями Румынии в 2007 г. (табл. 2), достаточно хорошо коррелируются с данными мониторинга концентрации ТМ в осадочных отложениях водохранилищ Железных Ворот I (Сербия), полученными позже (2009 г.) сербскими специалистами (табл. 3).

В бассейне Дуная выделяют зоны «высокого и хорошего качества» и отрезки реки, относящиеся к категории «подвергшихся значительным изменениям водотоков», а также оцениваемые в качестве «загрязнённых».

Таблица 3 – Концентрация ТМ в донных отложениях Железных Ворот I (Сербия), мг/кг [12]

Элемент	Концентрация		Критерии качества осадочных отложений (Международная комиссия по защите р. Дунай)	
	Диапазон	Среднее значение	Целевой уровень качества	Базовый уровень
Fe	17 606,7–42 350,4	29 205,0	–	–
Mn	523,4–1124,6	866,3	–	–
Zn	129,4–823,8	291,2	200	130
Cr	27,7–120,9	82,1	100	10–50
Ni	34,3–140,8	74,7	50	10
Pb	19,4–126,1	56,6	100	25
Cu	15,7–118,6	51,8	60	35
As	0,0–15,5	7,1	20	10
Cd	0,69–4,03	1,68	1,2	0,25
Hg	0,0–1,0	0,25	0,80	0,2

К наиболее токсичным загрязнителям гидросферы Среднего Дуная относятся: из ТМ – Cd, Pb, Hg, из органических соединений – ДДТ, линдан и атразин.

Средний Дунай классифицируется в качестве региона, «потенциально подверженного риску». Участок, проходящий по территории Хорватии и Сербии, относится к категории «потенциально подверженного риску» по всем категориям, поскольку для точной оценки отсутствуют достаточные данные.

Горный характер Восточной Сербии, преобладание естественных природных характеристик, а также структура экологических ресурсов определяют локализацию и активное функционирование зон поверхностных источников воды. Возрастающее значение качественных водных ресурсов, является отличительной характеристикой территорий обуславливающей потенциал развития регионального и национального уровней. Районы источников поверхностных вод, из-за их ценности и редкости, имеют особый социальный подход к оценке и очень часто являются приоритетом в защите и сохранении территории [13].

Протяжённость **р. Вуокса** от истока до устья составляет 156 км, из них по территории Ленинградской обл. 143 км (рис. 2).

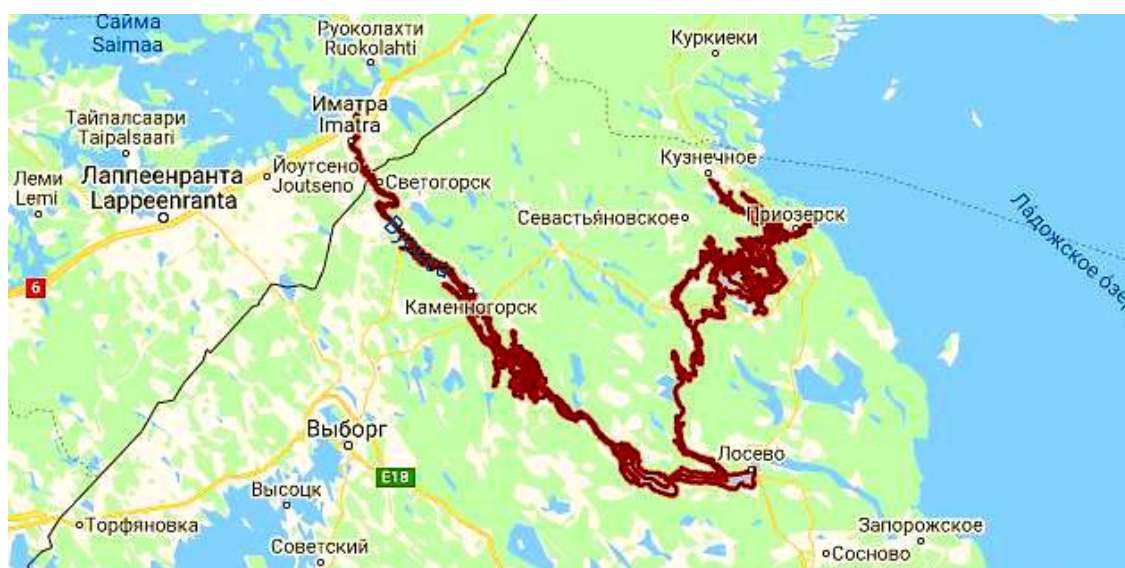


Рисунок 2 – Карта-схема бассейна р. Вуокса [5]

Таблица 4 – Трансграничный бассейн р. Вуокса [11]

Страна	Площадь в стране, км ²	Доля страны, %
Финляндия	52 696	77
Российская Федерация	15 805	23
Итого	68 501	100

Источник: Финский институт окружающей среды (SYKE).

Исток р. Вуокса (Балтийский водосборный бассейн) – оз. Сайма – является самым крупным озером Финляндии и представляет собой лабиринтообразный водоток (рис. 2, табл. 4), медленно протекающий с севера на юг, воды которого, в конечном итоге, поступают в Ладожское озеро (самое крупное пресноводное озеро Европы, имеет береговую линию протяжённостью 15 000 км и 14 000 островов). Площадь водосборного бассейна всей водной системы оз. Сайма составляет 61 054 км², при этом 85 % этой системы находятся на территории Финляндии, а 15 % – Российской Федерации (далее РФ).

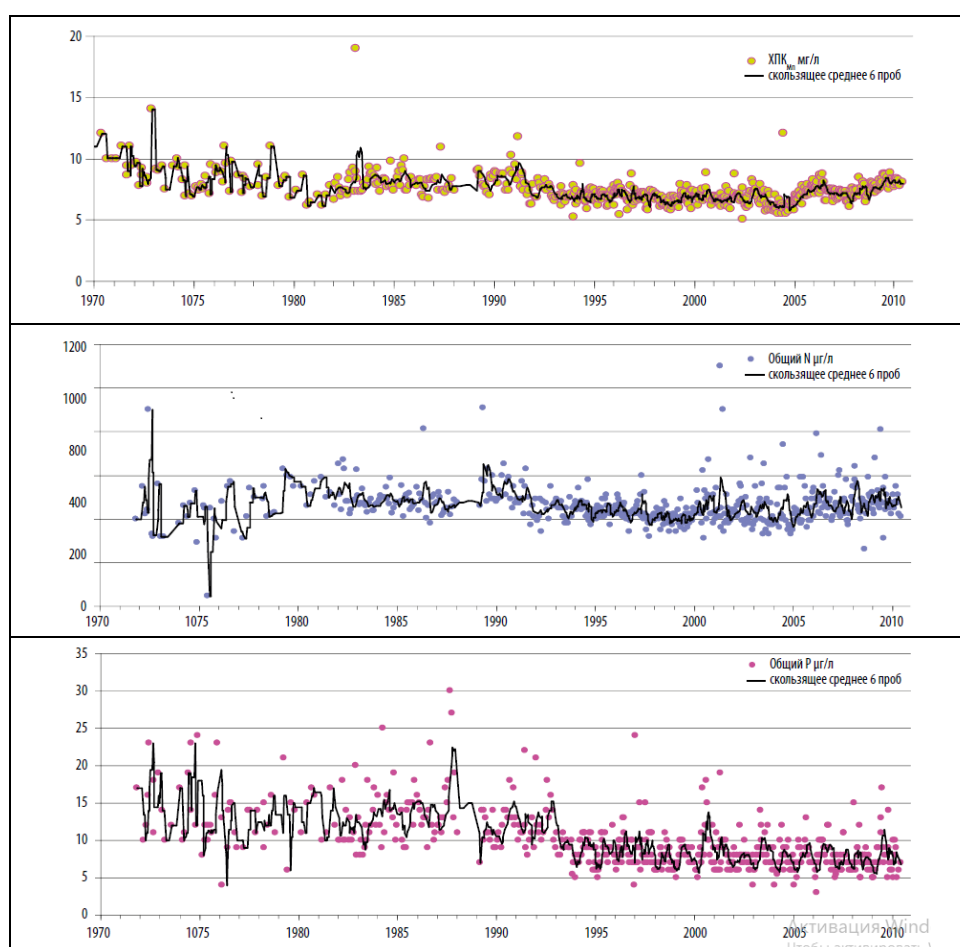


Рисунок 3 – Тенденции изменения ХПК, общих N и P в р. Вуокса в период 1970–2010 гг. [12]

На станции Вуокси/Тайнионкоски за период наблюдений с 1847 г. по 2004 г. среднегодовой расход колебался от 220 м³/сек (1942 г.) до 1 160 м³/сек (1899 г.). В настоящее время среднегодовой расход воды составляет 684 м³/сек (21,6 км³/год).

На реке построены гидроэлектростанции в Иматре (Финляндия), а также в Светогорске и Лесогорском (РФ). Таким образом, прибрежные районы р. Вуокси затрагиваются деятельностью по производству гидроэлектроэнергии. И хотя каких-либо особых проблем с качест-

вом воды не возникает, самыми важными вопросами являются исключительно низкий уровень воды и его флуктуация.

Качество воды в оз. Сайма хорошее, данные мониторинга свидетельствуют об стабильной тенденции её улучшения (рис. 3, 4).

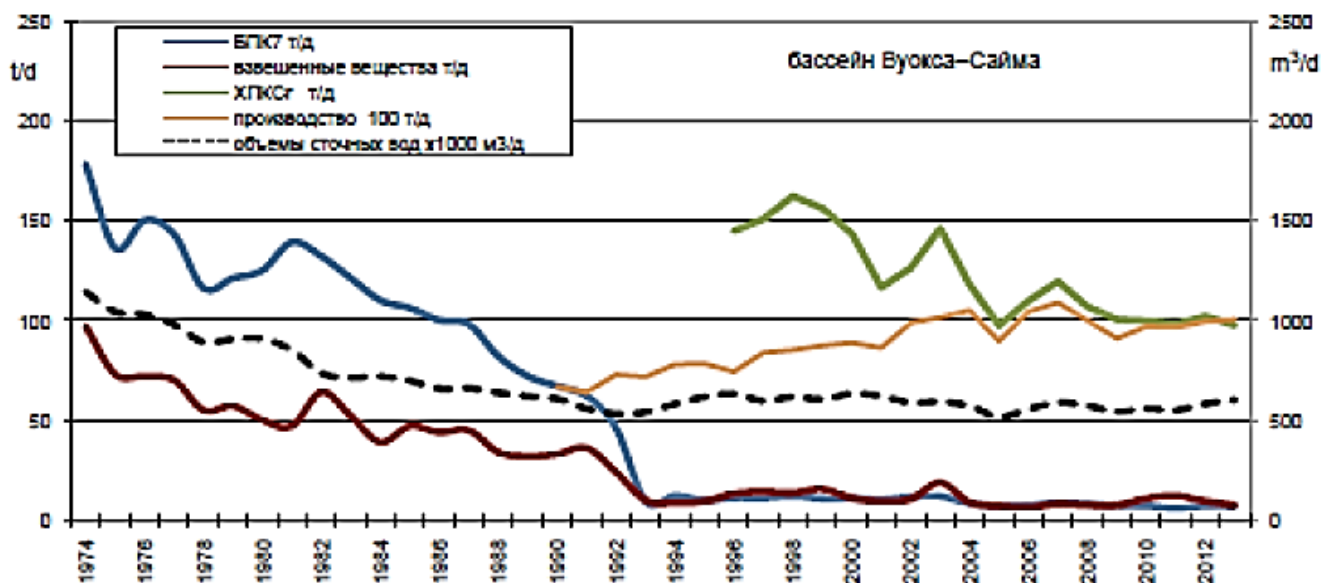


Рисунок 4 – Динамика улучшения качества вод системы Сайма-Вуокса на территории Финляндии за период 1974–2012 гг. [10]

Нагрузки на финляндской стороне района Вуокса-Сайма от очистных сооружений по БПК₇, ХПК, Сг, взвешенным веществам (т/сут), объёмы спросов сточных вод (м³/сут), а также объёмы производства бумаги, картона и целлюлозы (100 т/сут).

Структуру водопользования в бассейне р. Вуокса в Финляндии и РФ характеризуют данные табл. 5; финны используют воду только в промышленном производстве.

Подземные воды бассейна р. Вуоксы масштабно не используются ни Финляндией, ни РФ.

Таблица 5 – Суммарный водозабор и забор по сектору в бассейне р. Вуокса [12]

Общий объём забора воды, 10 ⁶ м ³ /год	Использование забора воды, %				
	Сельское хозяйство	Бытовые нужды	Промышленность	Энергетика	Прочее
Финляндия, 2007					
331	–	–	100	–	–
РФ, 2009					
90,89	0,2	4,6	84,3	4,9	2,2

Примечание. Основано на информации, предоставленной Финляндией и РФ, и на материалах Первой Оценки.

Промышленные предприятия Финляндии – целлюлозно-бумажные фабрики Стора Энсо АО Иматра, Метса-Ботниа АО Йоутсено и УМР Каукас все оснащены водоочистными сооружениями, на последних двух установлены фильтры биологической очистки.

Сточные воды сталелитейного завода Иматра Стил АО также подвергаются обработке.

Нагрузка по биогенным веществам, создаваемая финскими промышленными предприятиями, по оценкам составляет 27 т/год Р и 413 т/год N. На долю торфозаготовок и лесного хозяйства приходится 3,9 т/год Р и 57,2 т/год N.

Ресурсы поверхностных вод в финской части бассейна, по оценкам, составляют 18,86 км³/год (средний показатель за 1991–2005 гг.), ресурсы подземных вод – 0,331 км³/год, что в общей сложности составляет 19,19 км³/год или 34 000 м³/год на душу населения.

В приграничной зоне на финской стороне имеются малые запасы подземных вод, не представляющие значительного интереса для водопользования.

Финские гг. Имата и Йоутсено сбрасывают сточные воды в реку после обработки.

По оценкам экспертов нагрузка по биогенным веществам, создаваемая финскими городами и населёнными пунктами на систему бассейна Вуоксы, составляет, примерно 10,8 т/год Р и примерно 212,2 т/год N.

Нагрузка по биогенным веществам, создаваемая сельскохозяйственными предприятиями в финской части бассейна, по оценкам, составляет 21 т/год Р и 52 т/год N.

Сельскохозяйственная деятельность сильно ограничена, сельскохозяйственные угодья занимают менее 6 % финской территории бассейна реки.

В прибрежных районах для нужд гидроэнергетики проводится регулирование водотока.

На территории РФ в г. Светогорске муниципальные сточные воды обрабатываются на станции биологической очистки целлюлозно-бумажного комбината.

Водоток реки регулируется на участках ГРЭС в Таинионкоски (62 МВт) и Иматре, Финляндия (объём регулирования оз. Сайма – 6 700 · 10⁶ м³, 178 МВт), а также в Светогорске (объём водохранилища 28,75 · 10⁶ м³, мощность ГРЭС 94 МВт) и Лесогорске (объём водохранилища 35,4 · 10⁶ м³, мощность ГРЭС 94 МВт), РФ.

Таблица 6 – Приоритетные загрязнители и оценка качества речных вод в крупных населённых пунктах бассейна р. Вуокса [1–3]

Контролируемые показатели	Лесогорск	Каменогорск	Приозёрск
2017			
Кислородный режим	Удовлетворительный	В норме	Удовлетворительный
ХПК	1,4–1,6 нормы	1,4 нормы	1,8 нормы
БПК ₅	1,1–1,4 нормы	1,2 нормы	1,01 нормы
Fe _{общ.}	1,6 ПДК–н. д.	н. д.	3,4 ПДК
Cu	2,4–3,4 ПДК	2,4 ПДК	2,6 ПДК
Качество вод	Слабо загрязнённые	Слабо загрязнённые	Загрязнённые
2018			
Кислородный режим	Удовлетворительный	В норме	Удовлетворительный
ХПК	1,5–1,8 нормы	1,5 нормы	1,8 нормы
БПК ₅	н. д.	н. д.	н. д.
Fe _{общ.}	н. д.	н. д.	2,8 ПДК
Cu	3,6 ПДК–4,3 ПДК	3,5 ПДК	3,7 ПДК
Качество вод	Загрязнённые	Слабозагрязнённые	Загрязнённые
2019			
Кислородный режим	Удовлетворительный	В норме	Удовлетворительный
ХПК	1,2–1,3 нормы	1,3 нормы	1,5 нормы
БПК ₅	н. д.	1,1 нормы	н. д.
Fe _{общ.}	н. д.	н. д.	1,7 ПДК
Cu	3,1–3,2 ПДК	2,7 ПДК	3,4 ПДК
Качество воды	Слабозагрязнённые	Слабозагрязнённые	Слабозагрязнённые

Примечание. Наибольшую долю в общую оценку степени загрязнённости воды вносят ХПК, Fe_{общ.}, Cu.

В городах Ленинградской обл. (табл. 6, рис. 5), с развитой пищевой, деревообрабатывающей и химической отраслями промышленности, расположенных на реках Вуокса (Лесогорская), Волхов (Кириши), Полисть (Старая Русса), Пярдомля (Бокситогорск), Ловать (Великие Луки), установлены существенные повышения значений концентраций БПК₅ при про-

ходе реки через территорию этих населённых пунктов. Так, например, на р. Вуокса БПК₅ до завода составил 0,8 мгО₂/л, ниже города – 3,3 мгО₂/л; на р. Полисть: до завода – 1,1 мгО₂/л, ниже завода – 2,9 мгО₂/л; на р. Великая: БПК₅ до завода – 1,9 мгО₂/л, ниже – 3,8 мгО₂/л и др. После прохождения р. Вуокса через город в её воде значительно повышаются концентрации Mn с 7,2 до 17,9 мкг/л, и Cu – с 2,4 до 4,5 мкг/л.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что все виды антропогенного воздействия на гидросферу обуславливают формирование в малых реках геохимических аномалий различной контрастности, которые наиболее чётко проявляются в комплексах донных отложений рек, озёр и водохранилищ. Группы химических элементов формирующие разнообразные техногенные геохимические ассоциации, фиксируют масштабы, интенсивность и особенности техногенной трансформации гидросферы трансграничных бассейнов [7].

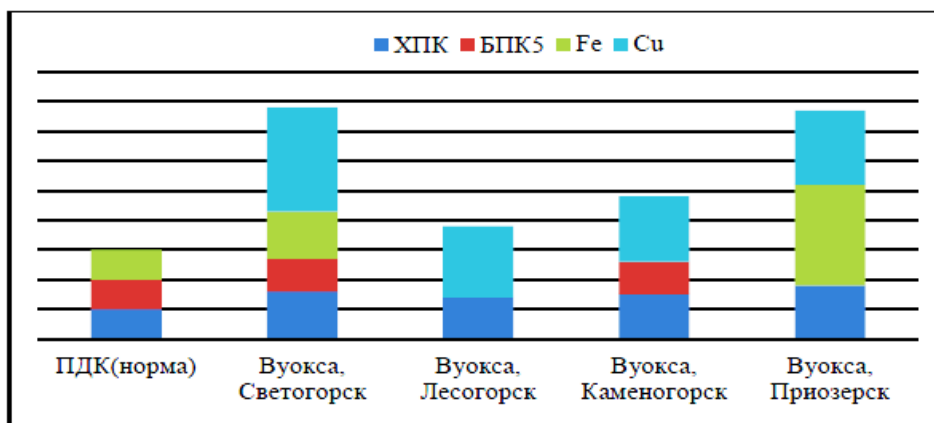


Рисунок 5 – Средние значения показателей загрязняющих веществ в водах р. Вуокса в основных населённых пунктах бассейна, превысившие соответствующие нормативы в 2017 г. [8, 9].

Изучение приустьевых участках водотоков бассейна Ладожского озера, протекающих по древним кристаллическим породам Балтийского щита, выявило повышенное содержание Cd (до 1,6 мг/кг), As (до 2), Sb (до 13), Pb (до 290), Zn (до 110), Cu (до 160), Cs (до 9), Sr (до 370 мг/кг).

С месторождениями и рудопроявлениями различных металлов Северного Приладожья, локализованными в породах кристаллического щита, увязывают повышенный геохимический фон ТМ в донных осадках озера.

В донных отложениях рек, дренирующих комплексы осадочных пород Восточно-Европейской платформы, фиксируются спектр элементов, представленный Cd (до 0,6 мг/кг), As (до 3), Sb (до 1), Ni (до 102), Zn (до 104 мг/кг).

В качестве приоритетных ТМ для целей мониторинга водных объектов региона, включая и трансграничные бассейны, обозначены Pb, Cr, V и Cd. Особо подчёркивается значение для аккумуляции и фиксации ТМ гумусового вещества и труднорастворимой фазы осадков [6].

В осадках р. Вуокса и других рек установлены необычные сфероидальные частицы, в составе которых ведущую роль играют Fe, Al и Si.

Анализ геоэкологических аспектов состояния, особенностей и динамики трансформации гидросферы, включающей как поверхностные, так и подземные воды, проведён на результатах комплексных многолетних исследований объектов двух, различных по геологическому строению, физико-географическим условиям, различным уровням урбанизации территориям трансграничных речных бассейнов Европы – широко известного Среднего Дуная (во-

досборный бассейн Чёрного моря) и менее известной Вуоксы (водосборный бассейн Балтийского моря).

Результаты территориального анализа ясно продемонстрировали определяющую роль в трансформации гидросферы регионов, геологического строения, состава, динамики и взаимосвязи поверхностных и подземных вод, масштабов, продолжительности и интенсивности различных видов антропогенного воздействия [1–13].

Успешное решение комплексных проблем рационального освоения водных ресурсов трансграничных речных бассейнов различных масштабов и географического положения возможно в эффективного проведения комплексных мероприятий в рамках положений Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр [4].

Библиографические ссылки

1. Доклад «Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2017 г.». СПб. : Администрация Ленинград. обл., Ком. по природ. ресурсам Ленинград. обл., 2018.
2. Доклад «Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2018 г.». СПб. : Администрация Ленинград. обл., Ком. по природ. ресурсам Ленинград. обл., 2019.
3. Доклад «Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2019 г.». СПб. : Администрация Ленинград. обл., Ком. по природ. ресурсам Ленинград. обл., 2020.
4. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр. Нью-Йорк : ООН, 1992.
5. *Мальшева Н. А., Фрумин Г. Т.* Эколого-токсикологическая оценка загрязнённости металлами реки Вуокса / География: развитие науки и образования : материалы LXXIII Герценов. чтений. СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2020. Т. II. С. 88–91.
6. *Петрова Е. А.* Закономерности распределения и формы находений тяжёлых металлов в донных осадках Ладожского озера : автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. СПб. : СПбГУ, 2005.
7. *Родионов В. З., Дрегуло А. М., Кудрявцев А. В.* Влияние антропогенной деятельности на экологическое состояние рек Ленинградской области // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 4 (80). С. 96–108.
8. Состояние окружающей среды в Ленинградской области в 2017 г. СПб. : Ком. по природ. ресурсам Ленинград. обл., 2018.
9. Состояние окружающей среды в Ленинградской области в 2018 г. СПб. : Ком. по природ. ресурсам Ленинград. обл., 2019.
10. Сотрудничество Финляндии с Россией, Швецией и Норвегией по трансграничным водотокам. Международный Фонд Спасения Арала. Межгосударственная Координационная Водохозяйственная Комиссия. Научно-Информационный Центр. Юрид. сб. № 49. Ташкент, 2019.
11. Первая оценка состояния трансграничных рек, озёр и подземных вод. Наши воды: возьмёмся за руки, минуя границы. Европейская экономическая комиссия. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр. Организация объединённых наций. Нью-Йорк и Женева, 2007.
12. Вторая оценка трансграничных рек, озёр и подземных вод. Европейская Экономическая Комиссия. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр. Организация объединённых наций. Нью-Йорк и Женева, 2011.
13. *Milinčić M., Mihajlović B., Šabić D., Čurčić N.* Function of the spring zones of surface water // J. of the Geogr. Inst. Jovan Cvijic SASA 62 (1), Jan. 2012. P. 11–29.

К ВОПРОСУ ОБ ЭНДОГЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ ЯНТАРЯ

Н. А. Якимчук¹, С. П. Левашов², И. Н. Корчагин³

¹Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле при ИГН НАН Украины,
пер. Лабораторный 1, 01133 Киев, Украина; yakymchuk@gmail.com

²НВП «Геопром», пр. Героев Сталинграда 10А, 04210 Киев, Украина

³Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,
пр. Палладина 32, 03680 Киев, Украина; korchagin.i.n.@gmail.com

Представлены результаты геофизических исследований Украинской морской антарктической экспедиции 2018 г., а также дополнительных работы на локальных участках добычи янтаря, которые свидетельствуют в пользу глубинного (абиогенного) его синтеза в процессе водородной дегазации Земли.

Ключевые слова: янтарь; геофизические методы; частотно-резонансное зондирование.

Уже более 15 лет авторами целенаправленно проводятся экспериментальные исследования с целью разработки мобильных и малозатратных геофизических методов и технологий «прямых» поисков рудных и горючих полезных ископаемых, а также воды (питьевой, минеральной, геотермальной). Различные модификации разработанных методов прошли апробацию в сезонных работах Украинских антарктических экспедиций, в том числе и в морской антарктической экспедиции 2018 г. В этой экспедиции на борту судна проводились геофизические исследования с целью изучения глубинного строения региона и поисков скоплений углеводородов (УВ). Неоднократно, при частотно-резонансном зондировании (сканировании) разреза для определения глубин залегания различных комплексов пород и залежей УВ фиксировались аномальные отклики на резонансных частотах янтаря в различных (в том числе и глубинных) интервалах разреза. В связи с этим было принято решение провести исследования на известных месторождениях янтаря с целью изучения особенностей его распределения в разрезе. Некоторые результаты дополнительных исследований на 2 участках добычи янтаря представлены и анализируются в докладе.

Метод исследований. Изучение участков добычи янтаря проводилось с использованием технологии частотно-резонансной обработки и интерпретации (дешифрирования) данных ДЗЗ (спутниковых снимков и (или) фотографий) [2, 3, 8, 10, 11]. Отдельные компоненты этой технологии разработаны на принципах «вещественной» парадигмы геофизических исследований [3], сущность которой заключается в поиске конкретного (искомого в каждом отдельном случае) вещества – нефти, газа, алмазов, Au, U, и т. д. Технология активно используется в последнее время для поисков скоплений углеводородов на начальных этапах геологоразведочного процесса, в том числе и для интегральной оценки перспектив нефтегазоносности крупных и труднодоступных блоков и площадей.

Акцентируем внимание на то, что обработка и дешифрирование спутниковых снимков поисковых участков, заимствованных из источников (сайтов) свободного доступа, оперативно проводится в лабораторных условиях, без организации и проведения полевых исследований. В связи с этим эту технологию можно считать супер-оперативной, позволяющей за очень короткое время выполнить оценку перспектив нефтегазоносности (рудноносности, водоносности) поискового участка в любой точке земного шара.

В модифицированных версиях методов частотно-резонансной обработки спутниковых снимков и фотографий, а также вертикального зондирования (сканирования) разреза используются базы (наборы, коллекции) химических элементов, минералов, пород и полезных иско-

паемых (фотографии конкретных образцов). Так, используемая коллекция образцов нефти включает 117 экземпляров, газоконденсата – 15 образцов.

База данных осадочных пород состоит из следующих групп: 1) обломочные породы – псефиты, конгломераты мономинеральные (22 образца); 2) обломочные породы – псаммиты (18 образцов); 3) обломочные породы: алевриты, аргиллиты, глины (6 образцов); 4) обломочные и глинистые породы: аргиллиты каолиновые (6 образцов); 5) обломочные породы – глинистые: глины каолиновые (10 образцов); 6) осадочно-вулканокластические породы (9 образцов); 7) карбонатные породы: известняки (24 образца); 8) карбонатные породы: доломиты (11 образцов); 9) карбонатные породы: мергели (10 образцов); 10) кремнистые породы (13 образцов); 11) соль (3 образца); 12) уголь (фото из книги) (3 образца).

База данных магматических и метаморфических пород включает 18 отдельных блоков пород: 1) группа гранитов и риолитов (29 образцов); 2) группа гранодиоритов и дацитов (7 образцов); 3) группа сиенитов и трахитов (18 образцов); 4) группа диоритов и андезитов (14 образцов); 5) породы группы лампрофиров (14 образцов); 6) группа габбро и базальтов (32 образца); 7) группа бесполовошпатовых бесфельдшпатоидных ультрамафических пород (20 образцов); 8) Группа фельдшпатоидных сиенитов и фонолитов (23 образца); 9) группа фельдшпатоидных габброидов и базальтоидов (6 образцов); 10) группа бесполовошпатовых фельдшпатоидных ультрамафических и мафических пород (10 образцов); 11) группа кимберлитов и лампроитов (20 образцов); 12) несиликатные породы: группа карбонатитов (8 образцов); 13) метаморфические породы группы гранулитов (10 образцов); 14) метаморфические породы группы гнейсов (26 образцов); 15) метаморфические породы группы кристаллических сланцев (44 образца); 16) метаморфические породы группы микро-кристаллических сланцев (филлитов) (11 образцов); 17) метаморфизованные породы группы аспидных сланцев (2 образца); 18) железная руда (5 образцов).

Достаточно часто при проведении исследований дополнительно используются отдельные химические элементы и минералы Н, С, Не, О, Au, Fe, алмаз, янтарь, а также группы (наборы) минералов О, Н, Al. Используемые в процессе проведения работ фотографии образцов янтаря приведены на рис. 1.

Отметим также, что состав перечисленных выше групп пород, минералов, а также отдельных химических элементов может быть расширен за счёт добавления в их наборы других образцов из различных регионов (в том числе и фотографиями пород из обнажений, а также керн из пробуренных скважин).

Результаты исследований. Информация о происхождении янтаря, его распространении и добычи приводится в опубликованных материалах [1, 5, 6]. На рис. 2 показаны известные месторождения янтаря в Европе.

Район добычи янтаря в Калининградской обл. России. С учётом положения участков добычи на рис. 2 для частотно-резонансной обработки был подготовлен спутниковый снимок, представленный на рис. 3.

На первом этапе частотно-резонансной обработки этого снимка с земной поверхности были зафиксированы аномальные отклики (сигналы) на резонансных частотах янтаря, нефти, газоконденсата, газа, угля, янтаря из другого региона, воды. В то же самое время в пределах этого снимка не были зарегистрированы сигналы от С, Н, Fe, Не, О, алмазов.

На следующем шаге обработки в разрезе обследуемой площади было установлено наличие следующих групп осадочных пород: 1–5 (сильный сигнал), 6, 12. Сигналов от всех традиционно используемых при обработке групп магматических и метаморфических пород не было зафиксировано. С поверхности (глубины) 250 км фиксировались отклики от 1–6 групп осадочных пород.

Группа 1 осадочных пород сканированием разреза прослежена с 250 км с шагом 100 м до 470,040 км. Это указывает на то, что на этой глубине расположен корень вертикального канала.

Сигналы на резонансных частотах янтаря фиксировались сканированием до 57,030 км. На гл. 2 м установлена верхняя граница залегания янтаря сканированием разреза с шагом 10 см с поверхности (0,0 м).

Сканированием разреза установлены также нижние границы сигналов для нефти – 57,045 км, конденсата – 57,040 км, газа – 57,050 км. Сигналы С и Н зафиксированы ниже этих значений – с 57,100 км. Ниже этого интервала фиксировались также отклики на резонансных частотах Fe, Ne, минералов Н, О и Al, Si, лабрадорита. Сигналы воды и янтаря на этой глубине не фиксировались.



Рисунок 1 – Фотографии образцов янтаря из месторождений в Калининградской обл. России и в Украине



Рисунок 2 – Месторождения янтаря на Европейском континенте [9]

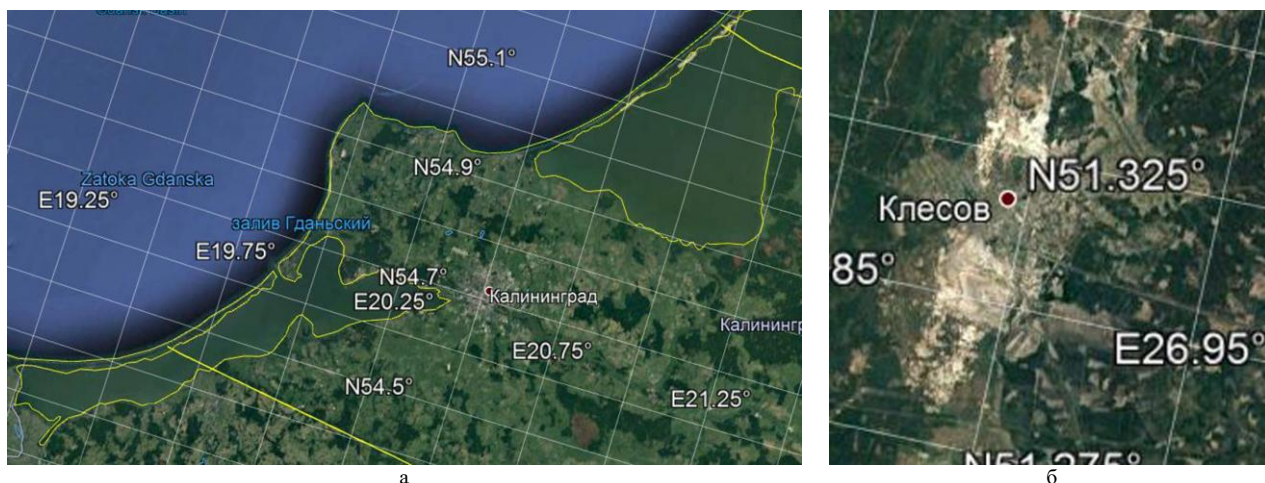


Рисунок 3 – Спутниковый снимок района добычи янтаря в Калининградской обл. России (а) и участка расположения месторождения янтаря Клесово в Ровенской обл. Украины (б)

Месторождение янтаря в Клесово (Ровенская обл. Украины). Спутниковый снимок участка расположения этого месторождения показан на рис. 3. На снимке достаточно чётко просматриваются крупные карьеры, из которых ведётся добыча янтаря. Здесь также с поверхности зафиксированы сигналы на резонансных частотах янтаря, нефти, конденсата, газа, угля. Не фиксировались отклики от He, O, C, H, Au, Fe, алмазов, воды.

Установлены отклики от 1–6 и 12 групп осадочных пород. Сигналы от всех групп магматических и метаморфических пород не были зарегистрированы.

С поверхности (глубины) 450 км фиксировались сигналы от 1–6 групп осадочных пород. Сканированием с гл. 468 км определены следующие нижние границы этих пород: группа 1 – 470,200 км; группа 2 – 470,090 км; группа 3 – 470,120 км; группа 4 – 470,040 км. Сигналы от янтаря получены до гл. 57,040 км.

С поверхности (глубины) 57,100 км фиксировались отклики на резонансных частотах меди, слюды и кварца, C, H, O, He, а также минералов Al, O и H. Сигналы воды, железной руды, угля, янтаря, алмазов, Au, нефти, конденсата и газа отсутствовали.

В то же время, с поверхности 56,800 км фиксировались сигналы янтаря, нефти, конденсата и газа, а на частотах He, O, C, H, Au отклики отсутствовали.

Зондированием с поверхности с шагом 1 см сигналы (отклики) на резонансных частотах янтаря фиксировались с гл. 1 м.

Регистрация откликов от янтаря в других регионах. Отметим, что при проведении исследований с борта судна в южной Атлантике, а также в районе Антарктического п-ова аномальные отклики на резонансных частотах янтаря фиксировались достаточно часто в пределах обнаруженных каналов вертикальной миграции флюидов и минерального вещества. Сигналы янтаря были также зарегистрированы в процессе проведения интегральной оценки перспектив нефтегазоносности ряда поисковых блоков в Украине и в России.

Фотография вулк. Таранани обрабатывалась также с использованием образца янтаря. Сигналы на резонансной частоте этого минерала были зарегистрированы в интервале глубин от 700 м до 194,100 км, причём на гл. 4 км фиксировались очень интенсивные отклики.

Поиски локальных зон скопления янтаря. В 2015 г. была проведена апробация частотно-резонансного метода обработки спутниковых снимков на участке поисков скоплений янтаря. Спутниковый снимок участка обследования поместился на лист формата А3 в масштабе 1 : 6 000 (рис. 4). Дополнительно при обработке использовался эталонный образец янтаря и координаты точки его отбора (рис. 4).

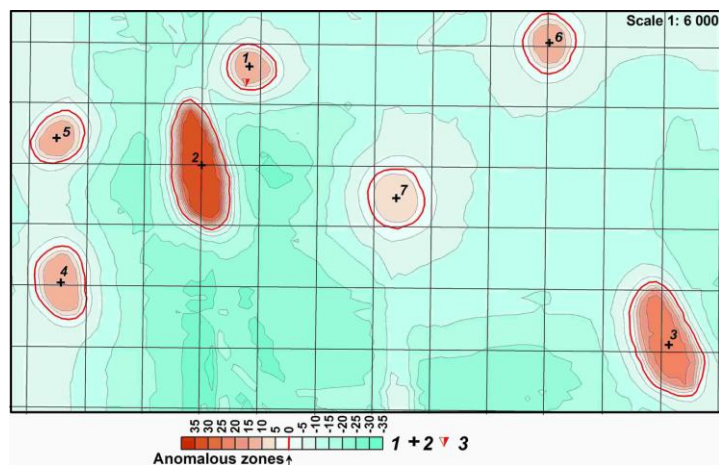


Рисунок 4 – Карта аномальных зон типа «янтарь» на поисковом участке в Украине

1 – шкала интенсивности аномального отклика (в условных единицах); 2 – центральные точки аномальных зон; 3 – точка отбора эталонного образца.

На начальном этапе исследований, на эталонном образце янтаря были определены его резонансные частоты. Эти частоты затем были заверены в процессе обработки фрагмента снимка в точке отбора образца. Фиксация в этой точке снимка аномальных откликов на установленных частотах янтаря свидетельствует о корректности процедуры их определения.

На завершающем этапе исследований с использованием установленных резонансных частот янтаря проведена частотно-резонансная обработка всего снимка участка обследования. В результате, на поисковом участке обнаружено и закартировано семь аномальных зон типа «янтарь» разных размеров и интенсивности аномального отклика. Эти аномальные зоны (локальные участки) являются наиболее оптимальными для поисков скопленений янтаря.

Впоследствии, в пределах одной из закартированных аномальных зон янтарь был обнаружен в результате проведенных раскопок.

Заключение. Результаты геофизических исследований в Украинской морской антарктической экспедиции 2018 г., а также дополнительных работ на локальных участках добычи янтаря можно считать таковыми, что свидетельствуют в пользу глубинного (абиогенного) синтеза этого минерала в процессе водородной дегазации Земли [4, 7].

В настоящее время господствующим является представление, что янтарь – это окаменевшая смола хвойных деревьев. Однако есть также специалисты, которые не согласны с такой позицией. В частности, на сайте [9], такое представление об образовании янтаря охарактеризовано как миф. И аргументируется это утверждение следующим образом: «Может янтарь это и смола, может и хвойных деревьев, однако есть одно «но». В кусках янтаря можно найти что угодно, и жуков, и пауков, и лягушку, и зверюшку, и даже яйцо Кощея Бессмертного. Только одного инклюза нет в «смоле хвойных деревьев» – хвои. Обойдите полмира, соберите все куски янтаря с включениями в них всякой флоры и фауны, но нигде вы не найдёте в них не одной сосновой иголки». На этом же сайте приводится также и такой текст: «Янтарь – это такое же полезное ископаемое, как уголь. Кстати прожилки янтаря встречаются в угольных пластах. И его запасы на разных глубинах лежат по всему земному шару. Добывают его в небольших количествах по всему миру от Доминиканы до Бирмы, от Канады до Колумбии. Есть разведанные запасы в тысячи тонн в Украине и Польше. Месторождениями богата почти вся Балтика, включая Германию, Литву и Латвию. В Северной Америке он залегает на глубинах в 300 м – вот почему мы не знаем про те месторождения».

Подтверждением к сказанному в предыдущем параграфе могут служить фотографии фрагментов разрезов в карьерах добычи янтаря в Германии и Доминиканской республике (рис. 5).



Рисунок 5 – Фотографии карьеров добычи янтаря в Биттерфельде (Германия) (а) и Доминиканской республике (б)

Целесообразно провести обработку снимков (фотографий) участков расположения этих карьеров, а также участков в районах добычи янтаря в других регионах земного шара.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность Антарктическому центру МОН Украины за предоставленную возможность провести значительный объём экспериментальных исследований в Украинской морской антарктической экспедиции 2018 г., а также капитану судна «Море Содружества» и его команде за создание благоприятных условий для проведения геофизических измерений в океане.

Библиографические ссылки

1. Богдасаров М. А. Янтарь из антропогенных отложений Беларуси. Брест : Изд-во Сергея Лаврова, 2001.
2. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удалённых территорий, лицензионных блоков // Геоинформатика. 2010. № 3. С. 22–43.
3. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований // Геофиз. журн. 2012. Т. 34, № 4. С. 167–176.
4. Лукин А. Е., Шестопалов В. М. От новой геологической парадигмы к задачам региональных геолого-геофизических исследований // Геофиз. журн. 2018. Т. 40, № 4. С. 3–72.
5. Рудько Г. И., Литвинюк С. Ф. Месторождения янтаря Украины и их геолого-экономическая оценка / Под ред. Г. И. Рудько. Киев-Черновцы : Букрек, 2017.
6. Сребродольский Б. И. Мир янтаря. Киев : Наук. думка, 1988.
7. Шестопалов В. М., Лукин А. Е., Згоник В. А., Макаренко А. Н., Ларин Н. В., Богуславский А. С. Очерки дегазации Земли. Киев : Тов. «БАДАТА-Интек сервис», 2018.
8. Якимчук М. А. Електричне поле і його роль у житті Землі // Геоинформатика. 2014. № 3. С. 10–20.
9. Образование янтаря [Электрон. ресурс]. URL: <https://iskatel.info/obrazovanie-yantarya.html> (дата обращения: 05.02.2019).
10. Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Bozhezha D. N. Application of mobile and direct-prospecting technology of remote sensing data frequency-resonance processing for the vertical channels of deep fluids migration detection // NCGT J. 2017. Vol. 5, N 1. P. 48–91.
11. Yakymchuk N. A., Levashov S. P., Korchagin I. N., Bozhezha D. N. Mobile Technology of Frequency-Resonance Processing and Interpretation of Remote Sensing Data: The Results of Application in Different Region of Barents Sea [Electronical resource] // Offshore Technology Conf. Arctic Technology Conf., 23–25 March, Copenhagen, Denmark, 2015. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/OTC-25578-MS> (date of access: 05.02.2019).

DIVERSITY AND AGE OF SEDIMENTS BUILDING KAME HILLS NEAR SUCHEDNIÓW (KIELCE UPLAND, CENTRAL POLAND) – FIRST RESULTS

T. Kalicki, P. Przepióra, Ł. Podrzycki

Jan Kochanowski University in Kielce, Institute of Geography, Department of Geomorphology, Geoarchaeology and Environmental Management, ul. Świętokrzyska 15, 25–406 Kielce, Polska; tomaszkalicki@gmail.com

The kame hills and terraces in the northern part of the Świętokrzyskie voivodeship (central Poland) were the subject of research in the 1970s. In 2019, further research was started using new methods to determine the age and genesis of the sediments that build this forms. A 15-meter high profile was made to expose one of the kame at the active sand pit western site. Two excavators and a climbing harness were used for this purpose. The exact descriptions and photographic documentation of the entire outcrop was made. The samples for grain size analysis using the sieve and planimetric methods was obtained, as well 11 samples for TL dating were also taken. The obtained results were compared with the existing knowledge on the glaciation of this part of Poland.

Keywords: kame hill; terrace; age and genesis of sediments; Poland.

The research area is located on the Suchedniów Plateau in Kielce Upland [4, 5], which is the northern part of the Mesozoic margin of the Holy Cross Mountains (central Poland) (Fig. 1). The site is located in the Kruk Forest at Zagórska street, about 1.5 km westward of the Suchedniów centre. It is the north-western part of the Kamionka river catchment, which is the right tributary of the Kamienna river.

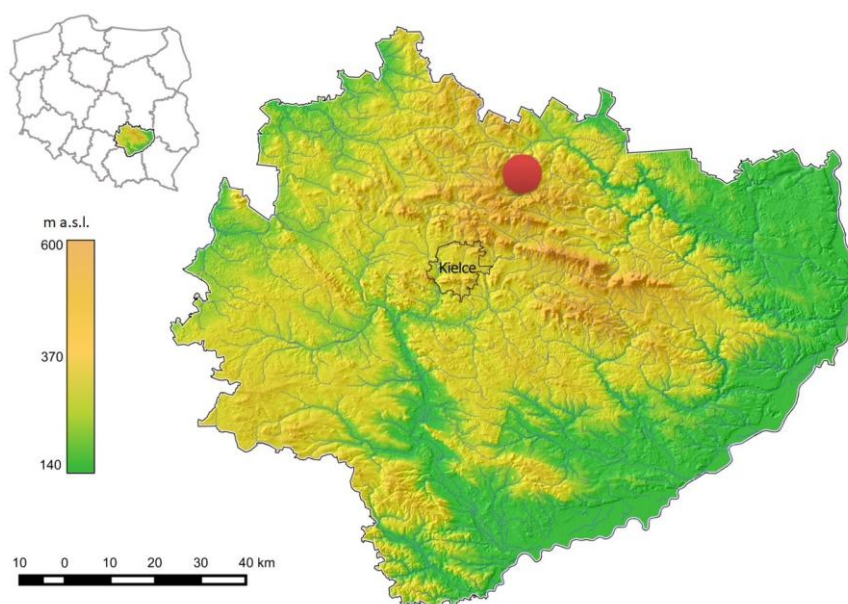


Figure 1 – Location of study area on Digital Elevation Model
(by M. Frączek, P. Przepióra based on data from CODGiK: MGGP Aero, No. GI-FOTO.703.44.2014)

During the Middle Polish glaciation (Saalian glaciation), plate and thick-lined Lower Triassic sandstones with inserts of clay, marl and iron ores were covered by glacial and fluvial sands with gravels, tills and dammed lake deposits [1, 2]. The kame hills and terraces in this area were created during the entrance of the ice sheet from the eastern and northern sides to the lower, middle and par-

tially upper part of the Kamionka river catchment. Fluvioglacial sediments were accumulated between two glacial lobes, creating characteristic inter-lobe forms. The terminal moraine accumulation created here are mostly relics of higher kame terraces and gravel kames formed during the deglaciation of the ice sheet in this part of Poland [6]. Coarse sediments also build higher fluvial terraces of Kamionka river [3].



Figure 2 – Field works with the use of heavy equipment (excavators) and climbing harnesses while preparing an over 15-meter profile (photo P. Przepióra 2019)

The Kruk sandpit site was already the subject of research in the 1970s [6]. At that time, the sediments building the kames in this part of the area were characterized, mostly their relative age and origin. The aim of the latest research is to determine the exact origins and age of the sediments based on modern laboratory methods. For this purpose, a 15-meter-high outcrop was made. In the field works an 2 excavators and mountaineering equipment was used in hard to reach places of this profile (Fig. 2). A total of 69 samples were collected for grain size analysis using the sieve method and 11 samples to thermoluminescence dating (TL) was selected. A exact lithostratigraphic, sedimentological description and photographic documentation was also made.

The kame hill is mostly made of different-grained sands with gravels with intercalations of finer sediments. This indicates the variability of the intensity of proglacial water flows. There are about 7 phases associated with intensive flows (high gravel content) and at least 4 with a clear decrease in the energy of the flows (increased content of silty sediments) (Fig. 3). In the lowest part of the profile, stabilization of sedimentation conditions is visible, when medium and fine sands with a tendency of finning downwards were accumulated. All these sediments are covered in the upper part of the profile with a 1-2 meter layer of moraine sediments (numerous sandstone and rapakivi granite boulders).

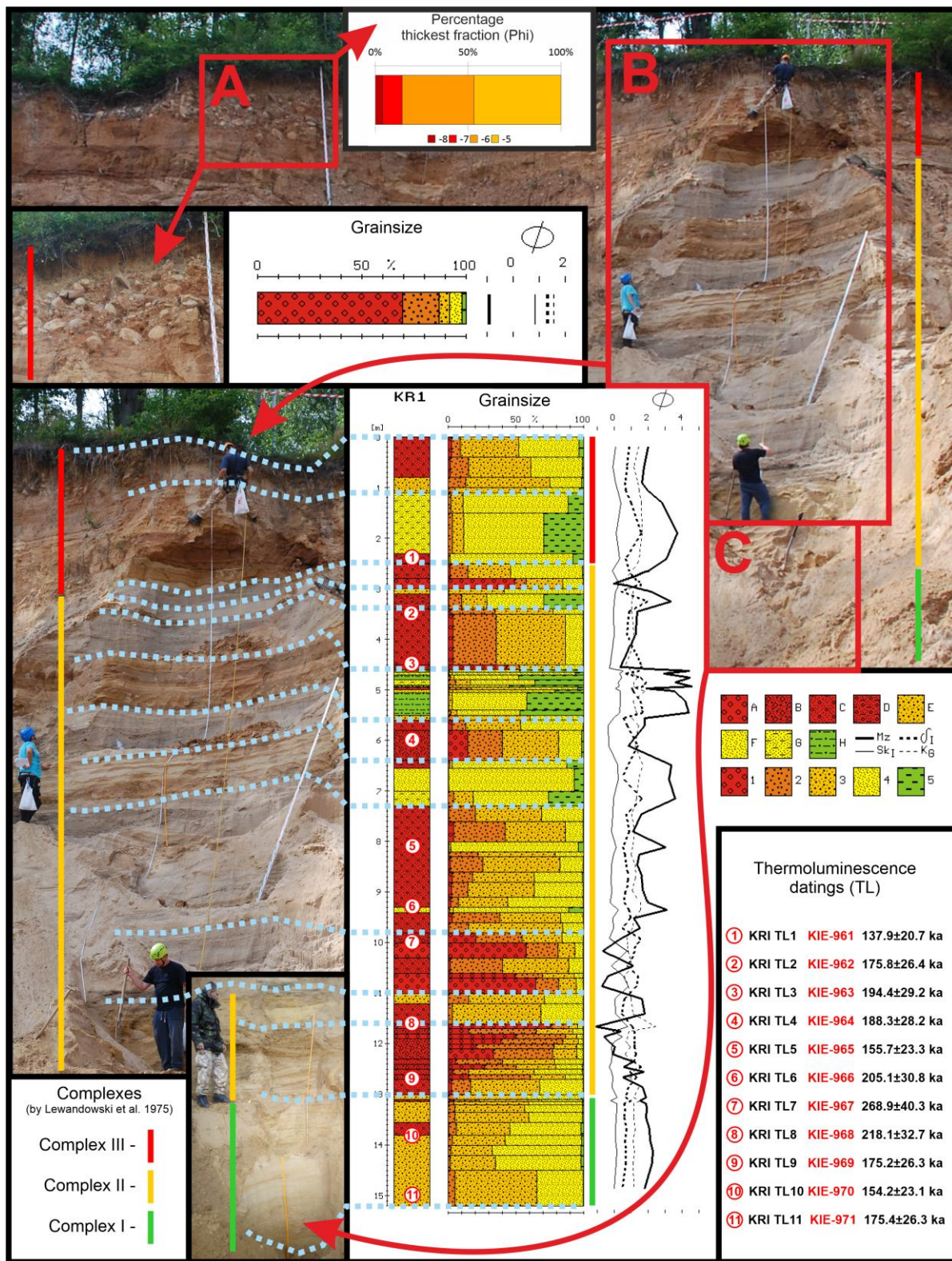


Figure 3 – The KR1 profile (photo T. Kalicki and P. Przepióra 2019) with the TL datings, sedimentary complexes and grain size analysis (planimetry and sieve method)

Lithology: A – gravels, B – gravels with sands, C – sands with gravels, D – silty sands with gravels, E – medium sands, F – fine sands, G – silty sands, H – sandy silts; Fractions: 1 – gravel (below -1ϕ); 2 – coarse sand ($-1-1\phi$), 3 – medium sand ($1-2\phi$), 4 – fine sand ($2-4\phi$), 5 – silts and clay (above 4ϕ); Folk-Ward's grain size distribution parameters: Mz – mean size, δ_1 – standard deviation, Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis



Figure 4 – The fault in depth 4 meters (complex II and III)(photo. P. Przepióra 2019)

As in the case of the research made in the 1970s in the northern outcrop of the kame [6], the present studies on the western wall confirmed the presence of three characteristic complexes of fluvioglacial sediment accumulation (Fig. 3). Complex I (lower part of the profile) is built mainly by silts and fine sands with poorly visible parallel lamination. Complex II (middle part of the profile) is built of different-grained sands, gravels and pebbles that create well visible layers. The large diversity of sediments that build this complex is related to the high variability energy of proglacial water transport. There are also clear faults resulting from dewatering those sediments (Fig. 4). Complex III (upper part of the profile) is built by sands, clays and boulders (moraine sediments), also with clear visible faults.

TL dates obtained from sediments from western wall about 175–140 ka years (Fig. 3), indicate that the form was created in the Warta stadium of the Middle Polish Glaciation, which confirmed the previous study of this area [3, 6].

The results obtained so far make it possible to determine and verify the age and genesis of the sediments that build proglacial forms in the Suchedniów region. Additional analyzes and datings clarify the results of previous studies, but also open up further discussion on the Middle Polish Glaciation in this part of Poland.

References

1. *Filonowicz P.* objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Skarżysko-Kamienna. Warszawa : Wyd. Geol., 1978.
2. *Filonowicz P.* Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Skarżysko-Kamienna. Warszawa : Wyd. Geol., 1978.

3. Kalicki T., Przepióra P., Podrzycki L. Struktura i geneza terasy Kamionki obok Suchedniowa // Acta Geographica Lodziensia. 2017. T. 106. S. 53–64.
4. Kondracki J. Regiony fizycznogeograficzne Polski. Warszawa : Wyd. UW, 1977.
5. Kondracki J. Geografia regionalna Polski. Warszawa : PWN, 2002.
6. Lewandowski J., Romanek A., Studencki M. Formy akumulacji międzylobowej w rejonie Suchedniowa // Kwart. geol. 1975. N 4. S. 887–906.

UDC 551.4(438)

THE ŚWIŚLINA RIVER VALLEY STRUCTURE AT THE DOŁY BISKUPIE SITE (HOLY CROSS MOUNTAINS, CENTRAL POLAND) – PRELIMINARY RESULTS

T. Kalicki¹, P. Przepióra¹, E. Klusakiewicz¹, Ł. Podrzycki¹, K. Fularczyk¹,
G. Pabian², K. Żurek³

¹Jan Kochanowski University in Kielce, Institute of Geography, Department of Geomorphology, Geoarchaeology and Environmental Management, ul. Świętokrzyska 15, 25–406 Kielce, Polska; tomaszkalicki@ymail.com, pawelprzepiora1988@gmail.com

²Jan Kochanowski University in Kielce, Institute of Geography, Department of Geotourism and Ecological Geology, ul. Świętokrzyska 15, 25–406 Kielce, Polska

³Student Science Club of Geomorphologists «Złoty Bażant»,
Jan Kochanowski University in Kielce, ul. Świętokrzyska 15, 25–406 Kielce, Polska

The structure of the Świślina river valley (Holy Cross Mountains, central Poland) was the subject of research dating back to the 1950s. Returning to this place after the years in 2014 and 2020 made it possible to use new methods in the analysis of sediments building studied area. For this purpose, climbing equipment was used to get to hard-to-reach places. Samples were taken for grain size and geochemical analysis. The results of analyzes based on magnetic separation of microscopic slags were also taken into account. These results allowed to obtain new data about the structure of this part of the valley. Changes in sedimentation associated with natural processes as well as with the intensification of human activity in last centuries (metallurgical activity, flash floods) were captured.

Key words: Świślina river valley; analysis of sediments; Poland.

The site is located in the Świślina river valley at Doły Biskupie, downstream from the «Wióry» water reservoir (Świętokrzyskie voivodeship). It is the north-eastern part of the Mesozoic margin of the Holy Cross Mountains, where the Triassic sandstones and shell limestones, marls and clay mudstones are covered with a thick layer of the Pleistocene loess. The relief is dominated by a low-relief plain (Palaeogene peneplain) that cuts down the age-different structural elements – the Palaeozoic, steep Godów fold, and the highly disturbed Triassic and Jurassic rocks. It is deeply cut by river valleys with terraced bottom, i.e. Świślina river. In its basin, loess areas developed a dense network of gullies and sunken lane (Fig. 1).

In the studied section, the valley has steep slopes, and two steps are marked at its bottom: a narrow 4.5–5.5 m high flood plain and a wider terrace raised 9–11 m above the river level (a.r.l) (Fig. 1). Both levels are build of fine-fraction sediments (anthropogenic muds), grain size similar to loess, in which numerous traces of metallurgical activity in the form of slags with a diameter of up to 25 cm were found. These traces indicate very young age and anthropogenic genesis of these sediments accumulation, related to the development of metallurgy [4].

In 2014 and 2020, a sediment study was undertaken on the site both within the left-bank of the flood plain and using specialist mountaineering equipment, in the five-meter exposure of loess on the right slope of the valley undercut by the river (Fig. 2). In addition to the standard grain size analysis by sieve and laser diffraction, the coarsest material was measured using the planimetric method. The geochemical analyzes of the flood plain alluvia were performed on the content of

heavy metals such as Zn, Fe or Pb, as well as the magnetic separation of micro-slugs from overbank sediments.

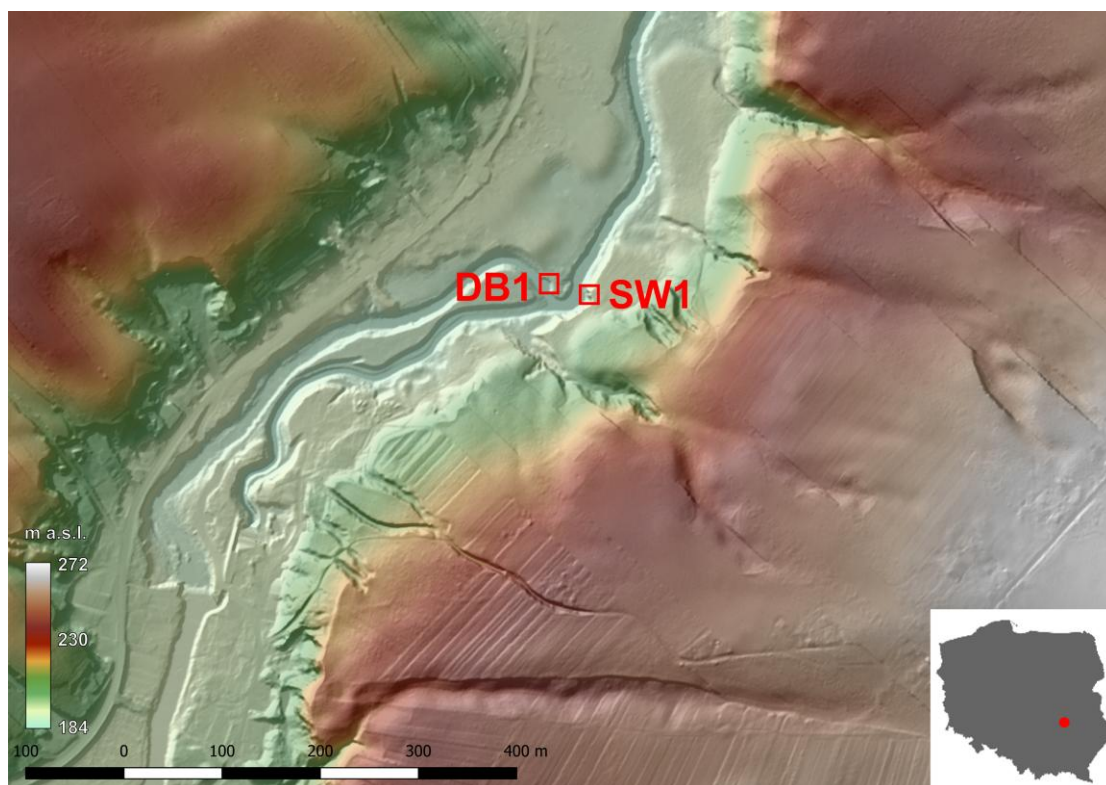


Figure 1 – The location of the study area (DB1 and SW1 profiles) in the DEM map (by K. Żurek, geoportal.gov.pl)

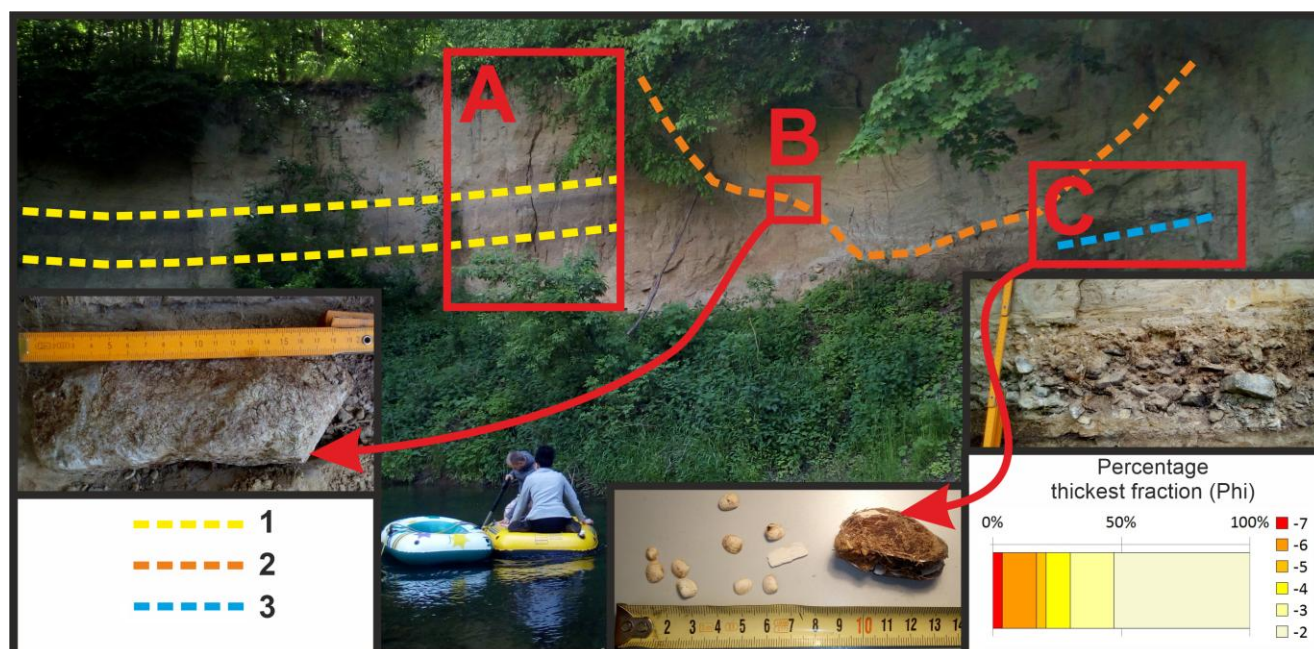


Figure 2 – The SW1 profile (photo P. Przepióra, 2020) in right-bank of the river
 1 – buried soil (profile – A); 2 – buried gully filled with a loess and limestone boulder in the bottom (B); 3 – lens of sharp-edged shell limestone fragments and malacofauna (C).

The loess outcrop is several meters wide. To the left is a buried soil with a low organic content separating the two loess series (yellow line on Fig. 2). The older one, directly below the buried soil, is finer and decarbonated, which may be related to the development of soil formation processes. The upper series is more sandy, slightly carbonate, and the carbonate content varies significantly from 0 to 5 %. The graining and fluctuations in carbonate content may indicate that this is a sediment series redeposited from the plateau (Fig. 3). On the right side of the outcrop, a buried gully filled with a series of loess is visible. At the bottom of its filling, there is a sharp-edged 20 cm diameter limestone boulder. In the most extreme, right-site part of the outcrop, at a height of approx. 2 m a.r.l. the lens of sharp-edged shell limestone fragments with a maximum diameter of 10 cm is preserved. This layer is about 25 cm thick, and in its highest part, there are undamaged shells of *Unio* and other species of malacofauna (Fig. 2C). This layer may be related to the catastrophic flood that occurred after the dam of the «Wióry» water reservoir was a failure in 2001 [1]. The traces of catastrophic flows (flash flood) are coarse sediments. During the descending flood wave, malacofauna was deposited in the upper part of these sediments. Similar coarse cut and fill alluvial body related to catastrophic flash floods after dam failures are also known from other Holy Cross Mountains river valleys [2, 3].

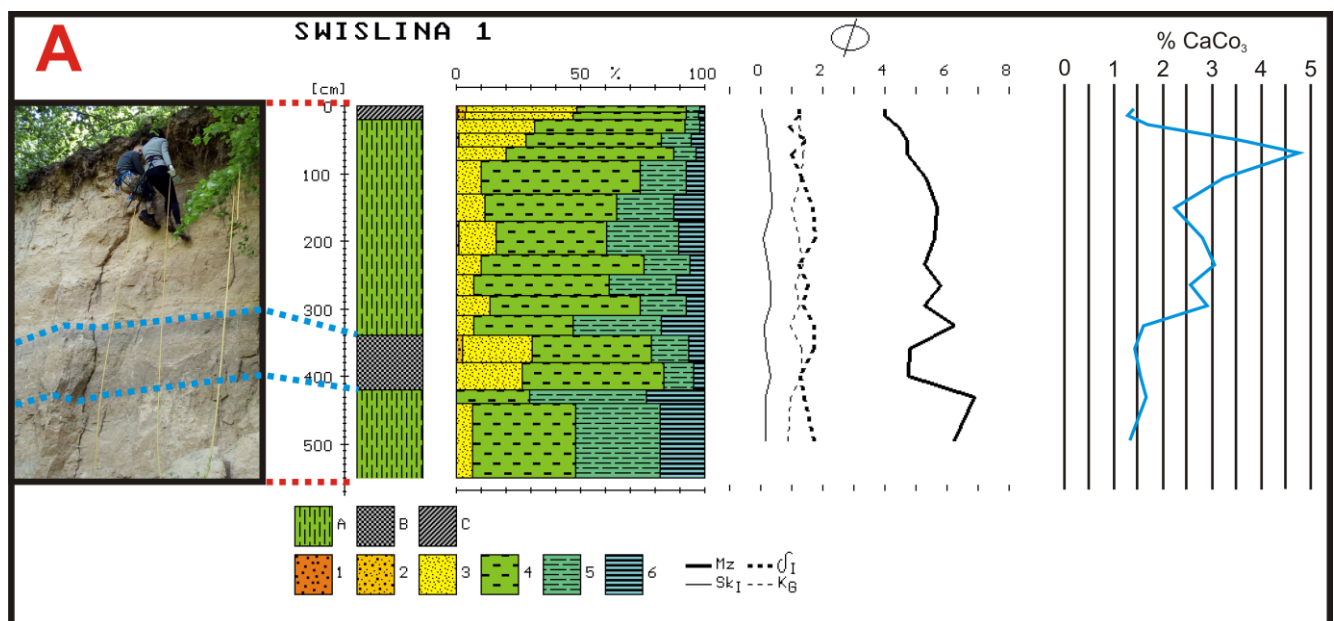


Figure 3 – The SW1 profile (P. Przepióra 2020) with the $CaCO_3$ concentration

Lithology: A – loess, B – buried soil, C – A-horizon of present-day soil; Fractions: 1 – gravel (below -1ϕ); 2 – coarse sand ($-1-1\phi$), 3 – medium sand ($1-2\phi$), 4 – fine sand ($2-4\phi$), 5 – coarse and medium silt ($4-6\phi$), 6 – fine silt ($6-8\phi$), 7 – clay (above 8ϕ); Folk-Ward's grain size distribution parameters: Mz – mean size, δ_1 – standard deviation, Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis

The Świślina River basin is located in an area where the Prehistoric metallurgy developed (bloomers), and later, in the Middle Ages and modern times, in the Old Polish Industrial District area. Metallurgy activity was concentrated along many rivers in the Holy Cross Mountains region, including Świślina river, which is confirmed by historical data.

In the DB1 profile of the floodplain, on the lag deposits (poorly rounded gravels) there are overbank sediments, silts with an admixture of sands. With the aid using the magnetic gripper, ferromagnetic particles were separated from the overbank sediments, among which numerous microscopic iron balls (spherules) appear (Fig. 4). They occur only in the upper and middle part of the profile, above the distinct sandy flood layer confirming that the sediments above were accumulated during the modern metallurgical activity period. There are many markers of the metallurgical activity

in the catchment area what was confirmed by the presence of larger slag fragments described in the 1950s in the profiles made on this site [4].

The geochemical analysis of the sediments in this profile showed an increase in the content of elements towards the surface, with the maximum concentration at 25–105 cm depth (Fig. 5). This tendency, in particular in the case of iron and manganese, clearly correlates with the presence of microslags, the markers of the historical industry influence in this area. Increased geochemical accumulation can also be connected with a large share of the fine-grained fraction, influencing the sorption properties of the sediments, and with the reaction determining the migration of individual elements in the profile. Moreover, an inverse relationship was found between the content of the studied metals and the concentration of carbonates. The geochemical changes and microslags are an excellent marker of metallurgical activity and are helpful in the interpretation of the processes, genesis and age of alluvia at the studied site.

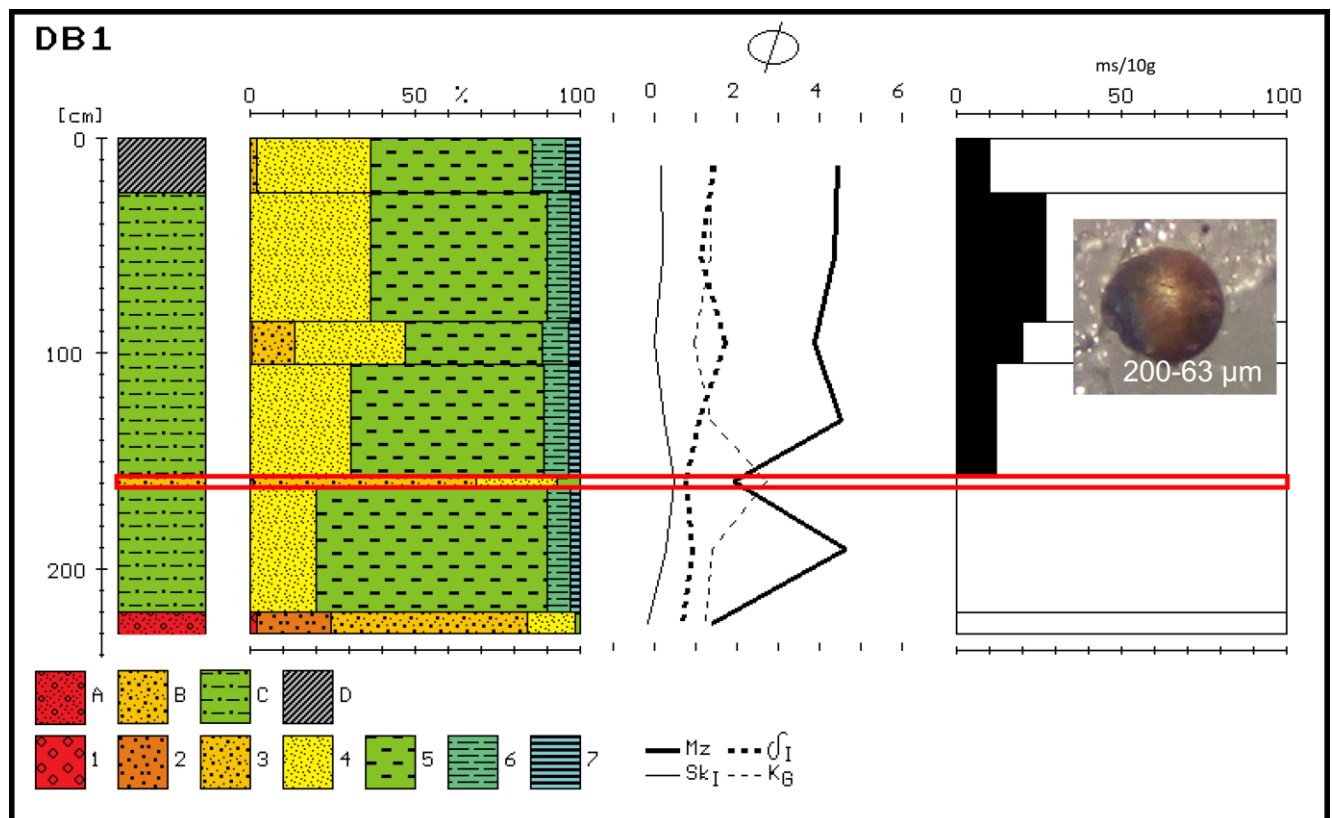


Figure 4 – The DB1 profile with the microslags (iron balls) concentration (ms/10g – microslag per 10 grams of material). The red box marks the flood layer location

Lithology: A – sands with single gravel, B – medium sands, C – sandy silts, D – soil;

Fractions: 1 – gravel (below -1ϕ); 2 – coarse sand ($-1-1\phi$), 3 – medium sand ($1-2\phi$), 4 – fine sand ($2-4\phi$), 5 – coarse and medium silt ($4-6\phi$), 6 – fine silt ($6-8\phi$), 7 – clay (above 8ϕ);

Folk-Ward's grain size distribution parameters: Mz – mean size, δ_I – standard deviation, Sk_I – skewness, K_G – kurtosis.

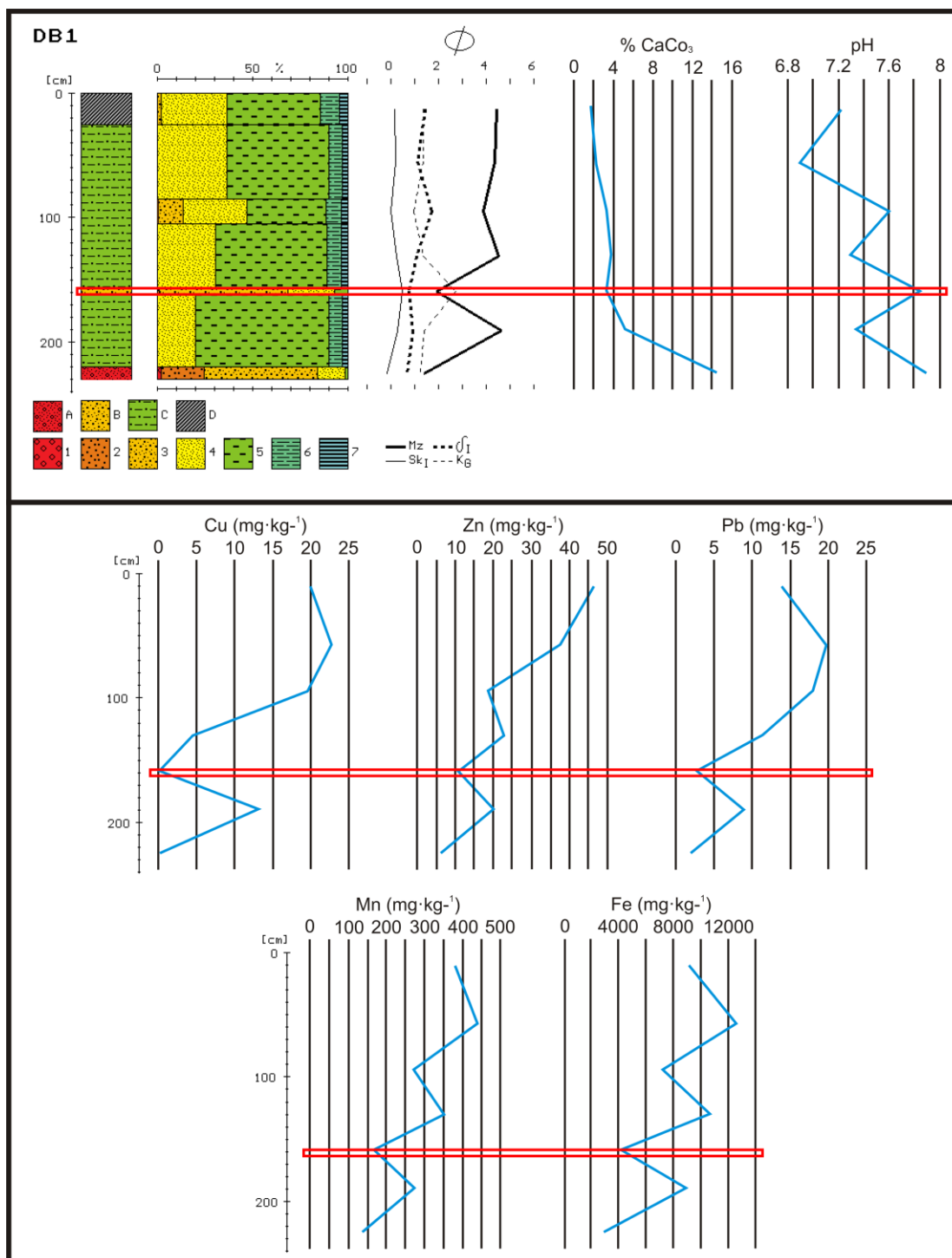


Figure 5 – The DB1 profile with the CaCO₃ concentration, pH parameter and geochemical concentration of heavy metals. The red box marks the flood layer location

Lithology: A – sands with single gravels, B – medium sands, C – sandy silts, D – present-day soil;

Fractions: 1 – gravel (below -1φ); 2 – coarse sand (-1–1φ), 3 – medium sand (1–2φ), 4 – fine sand (2–4φ), 5 – coarse and medium silt (4–6φ), 6 – fine silt (above 6–8φ), 7 – clay (above 8φ);

Folk-Ward's grain size distribution parameters: Mz – mean size, δ₁ – standard deviation, Sk₁ – skewness, K_G – kurtosis.

References

1. Ciupa T. Przyrodnicze i antropogeniczne uwarunkowania oraz skutki powodzi w zlewni rzeki Świśliny w lipcu 2001 roku (Góry Świętokrzyskie) / P. Szwarzewski, E. Smolska (eds.). *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym*. Warszawa : Wyd. UW, 2012. S. 29–34.

2. Kalicki T., Przepióra P., Kuształ P. Antropogeniczne powodzie błyskawiczne na dwóch wybranych rzekach Świętokrzyskich w XX w. – Przyczyny i skutki // *Prace i Studia Geograficzne*. 2019. T. 64, Z. 1. S. 21–36.

3. Kalicki T., Przepióra P., Kuształ P. Origin and effects of anthropogenic flash floods on rivers of Holy Cross Mts. region (Poland) in 20th c. // *Acta Geobalcanica*. 2019. Vol. 5, N 1. P. 85–92.

4. Klatka T. Muły antropogeniczne doliny Świśliny i ich dynamiczna interpretacja // *Łódzkie Tow. Naukowe. Wydz. III*. 1958. N 54. S. 165–187.

UDC 551.58(438)

PALAEOENVIRONMENTAL CONTEXT OF THE SUBNEOLITHIC HUNTER-GATHERER COMMUNITIES OF THE NIEMEN CULTURE – CASE STUDY AT LIPSK SITE (NE POLAND)

M. Frączek¹, A. Bęben², A. Wawrusiewicz³, T. Kalicki¹

¹Jan Kochanowski University in Kielce, Institute of Geography, Department of Geomorphology, Geoarchaeology and Environmental Management, ul. Świętokrzyska 15, 25–406 Kielce, Polska; marcinfraczek1987@gmail.com, tomaszkalicki@ymail.com

²Student Science Club of Geomorphologists «Złoty Bażant»,
Jan Kochanowski University in Kielce, ul. Świętokrzyska 15, 25–406 Kielce, Polska

³Department of Archaeology, Podlaskie Museum in Białystok,
Rynek Kościuszki 10, 15-426 Białystok, Poland; archeologia@muzeum.bialystok.pl

The study area is located in the NE part of the Biebrza Basin (ice-marginal valley on the borderland between Central and Eastern Europe in NE part of Poland) in Podlasie voivodeship. The region was an oecumene of hunting and gathering communities during the Neolithic period. Their lifestyle was inextricably linked to the vast valley area and connected to the climate fluctuations. These communities were in constant motion and did not develop an established lifestyle. Results of the studies on Lipsk, and other sites in the Biebrza Basin, indicate some periods of climatic changes and an increase of morphogenetic processes activity. Presence of peats dated at $7\ 050 \pm 60$ (MKL-4798) $6\ 033\text{--}5\ 789$ cal. yr BC on sandy sediments in profile L22 could be correlated with the older colluvial deposits at Lipowo site. In profile L20 on the Preboreal peats enters the Boreal or Early Atlantic sandy sediments, which were covered by the Atlantic peats. The aeolian activity could have led to the appearance of sands at the bottom of the L20 profile between $9\ 880 \pm 100$ BP ($9\ 803\text{--}9\ 182$ cal. yr BC) and $7\ 350 \pm 110$ BP ($6\ 425\text{--}6\ 026$ cal. yr BC).

Key words: Podlasie region; Niemen Culture; subneolithic hunter-gatherer communities.

The main aim of this work is to present the results of geoarchaeological studies of the Lipsk area and the reconstruction of selected components of the environment from the time spare of the Niemen culture. The study includes the archaeological site (*on-site* study) and surroundings (*off-site* study). Relief of this region was formed during Middle Polish (Saalian) Glaciation – Warta Cold Stage. During the next ice-sheet advance until the Pomeranian phase (Fig. 2) of last glaciations, about 16.2 ka BP [4] or 15.5–15.0 ka BP [6], outflow from Naroch-Wilia and Skidel dam lakes and river waters of the upper Neman river followed Łosośna river valley, it's tributary Tatarka river breakthrough Pripilin-Nurki gap section to Biebrza and Narew river valleys [3, 6, 9] (Fig. 1). Therefore the Biebrza is underfit river with vast peat-bogs on its valley floor. However, in the close vicinity of the archaeological site, we can find traces of a now non-existent watercourse, which could be connected with LGM (Fig. 1, 3) only in a short distance from Hacıłówka to Biebrza (Fig. 1).

Nowadays the archaeological site is a well-exposed dune-like elevation with an area of about 1 ha, in the central part of a large peat-bog. From the south, it adjoins the modern Biebrza riverbed.

On the eastern side of the elevation, at a distance of about 100 meters, there is an oxbow lake with is the remnant of a now non-existent watercourse, whose relic is the extensive (about 0.5 ha) old lake partial covered by the floating mat (Fig. 2). In the depression, there are peats and peaty silts with a thickness of up to 6 meters in borehole L21 (Fig. 3). Based on *off-site* studies it was possible to create schematic geological cross-section for the surrounding area and more detailed for the archaeological site and part of the dune.

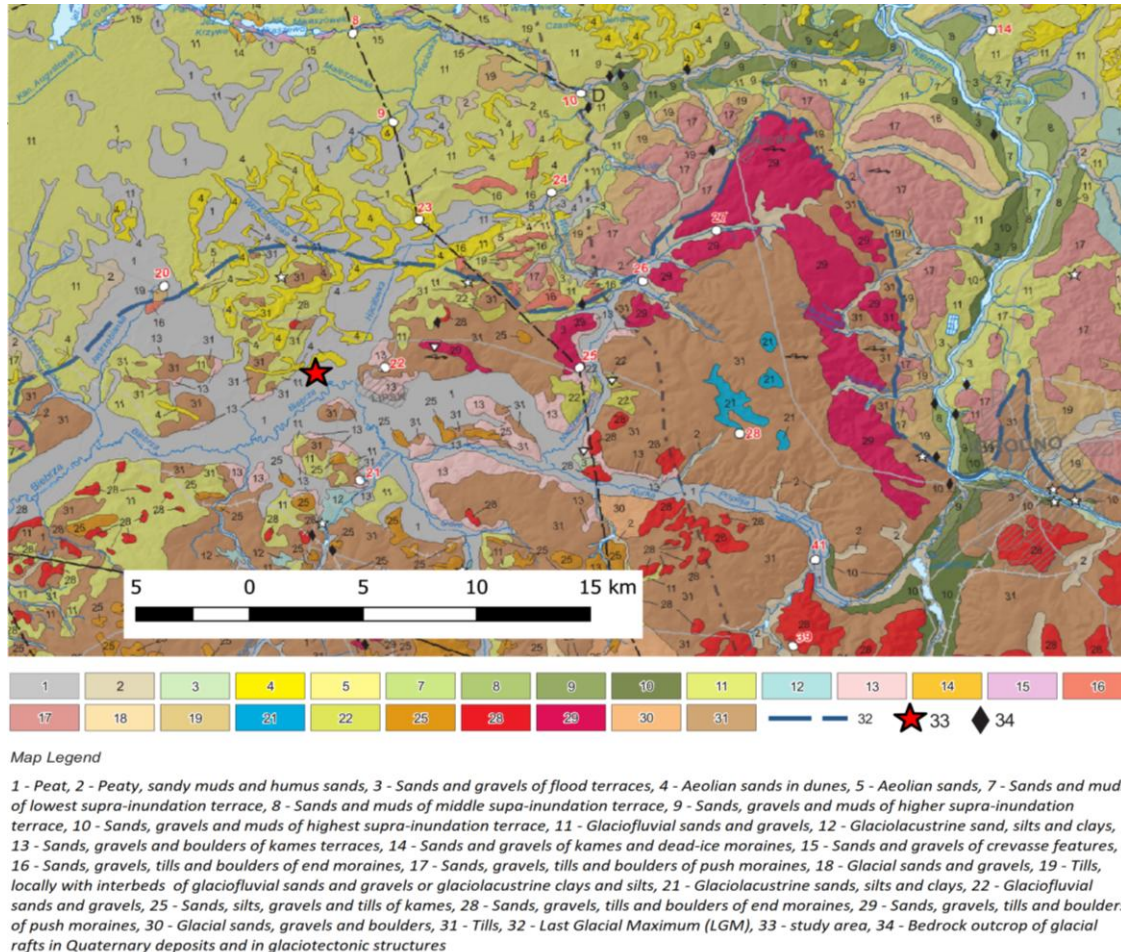


Figure 1 – Part of geological map 1 : 250 000 [5]

Within the site and its surroundings can be distinguished several different age geological segments. The first one is an elevation built of dune fine and medium-grained sands. The second one, located at the foot of the elevation, is a part of the sandy alluvial plain of a braided river. A beginning of peat accumulation in the valley floor (L20 borehole) was radiocarbon dated at $9\ 880 \pm 100$ BP (MKL-4799) $9\ 803\text{--}9\ 182$ cal. yr BC (Fig. 3). In the next stage occurred beginning of peat accumulation, near an archaeological site at Lipsk, which was radiocarbon dated at $7\ 600 \pm 90$ BP (MKL-4801) $6\ 633\text{--}6\ 254$ cal. yr BC in the bottom of L22 profile (Fig. 3). Around the same time, $7\ 350 \pm 110$ (MKL-4798) $6\ 425\text{--}6\ 026$ cal. yr BC, peats enter on deluvial (colluvial)/aeolian/fluvial deposits? (samples under analysis) in L20 profile (Fig. 3). After that, $7\ 050 \pm 60$ (MKL-4798) $6\ 033\text{--}5\ 789$ cal. yr BC, on the same kind of sediments? (not cleared yet) enters peats in profile L22 (Fig. 3). After that event, at both profiles, starts the accumulation of undisturbed peats. The archaeological trench was located on the south-eastern edge of the dune at a distance of about 10 m from the currently visible slope of the dune (Fig. 2, yellow box). This area was chosen because of the possibility of capturing well-preserved stratigraphic systems that can be

correlated with specific settlement phases in the palaeoenvironmental context. During the archaeological research in the 2019 season, nearly 2 000 artifacts were documented. Most of the Prehistoric material discovered at this site was flint material. Fragments of ceramic vessels represent only 10 percent of this collection. The artefacts were in all explored layers. The first, few finds were recorded at a depth of about 0.2 m, in the bottom of the peat. Up to a depth of about 0.5 m, these elements were clearly culturally incoherent. In the same stratigraphic system, flint products characteristic for the Preboreal period (Kunda culture) and the Atlantic period (Janislawice-Neman culture) co-existed. They were also accompanied by fragments of ceramic vessels from different periods. The youngest of them should be dated at the beginning of the Subatlantic period (about 2 500–2 000 BP).

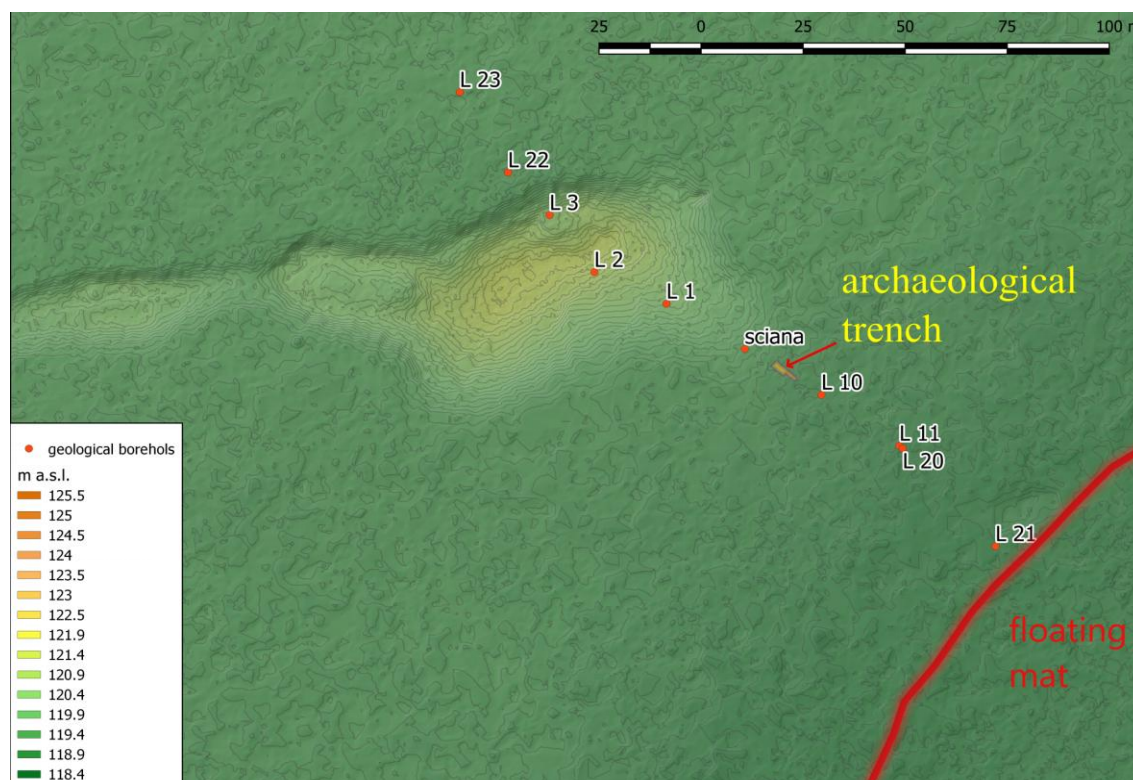


Figure 2 – Location of the geological boreholes and archaeological trench

Correlating these archaeological data with the stratigraphic layers of the excavation profile, it can be assumed that these materials could be mixed by the colluvial processes. This process was probably launched in the Subatlantic period. It caused the dislocation and mixing of archaeological material associated probably with the existence marks of encampments or settlements located in higher parts of the dune. Below this stratigraphic segment, homogeneous archaeological material, related to the settlement and economic activity of the Subneolithic hunter-gatherer communities, was documented (Neman culture). Most of the artefacts discovered here have been preserved *in-situ*, including a deposit of several fragments of flint blocks and cores. At this level, fragments of ceramic vessels have also been registered, which can be initially dated for a period of about 7-6 thousand years BP. The presence of several products of the Late Palaeolithic origin is unclear. These artefacts were found in the lowest strata of anthropogenically transformed position. They may not be as obvious proof of the old settlement. There are many examples when the old flint artefacts/products were transferred and used in much later times.

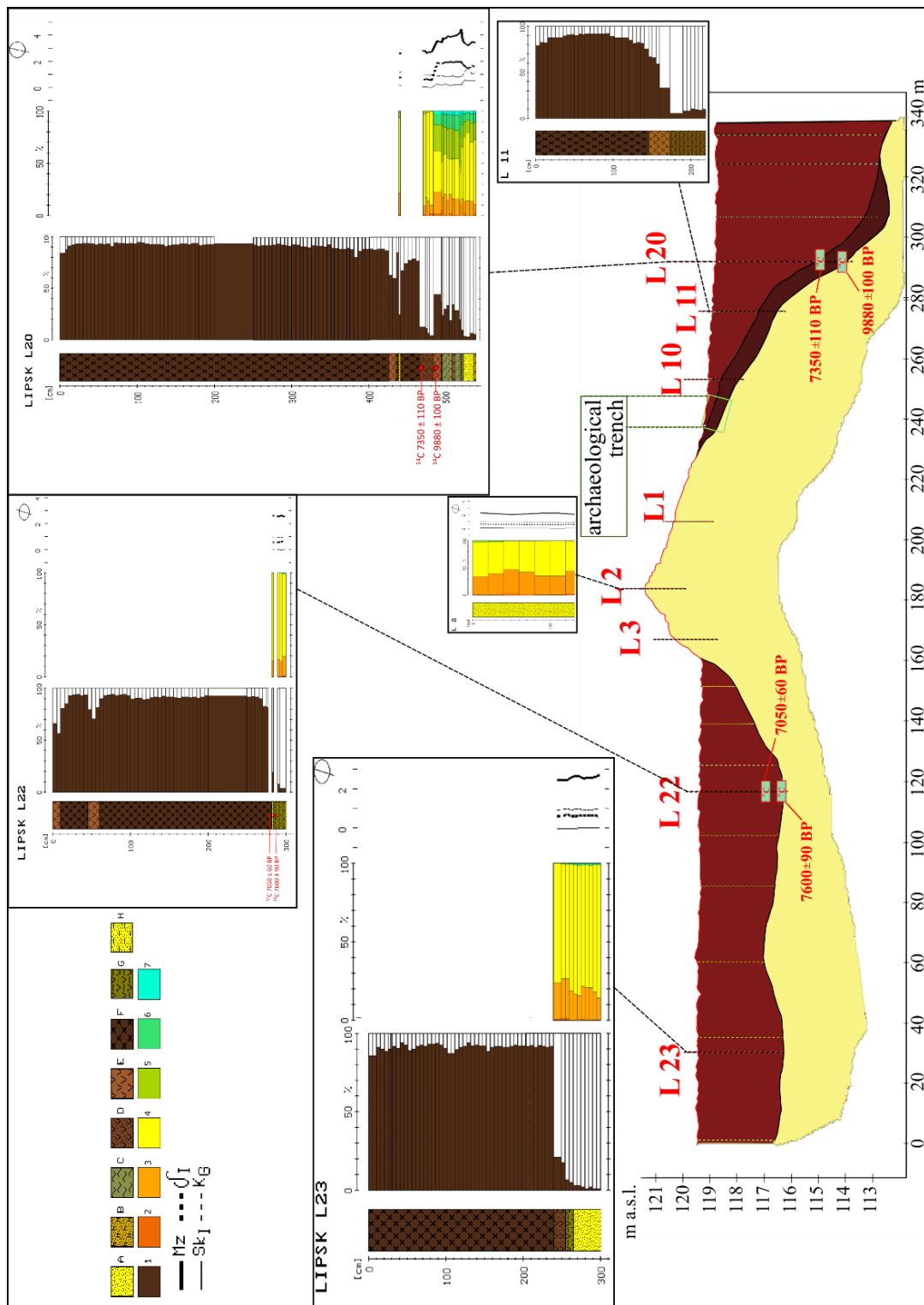


Figure 3 – Geological cross-section of Lipsk site, lithology, grain size and Folk-Ward's distribution parameters of selected profiles

Lithology: A – fine sands, B – peaty silts, C – silty peats, D – peats;

Fractions: 1 – coarse sand (-1 to 1ϕ), 2 – medium sand ($1-2\phi$), 3 – fine sand ($2-4\phi$), 4 – coarse and medium silt ($4-6\phi$), 5 – fine silt ($6-8\phi$), 6 – clay (above 8ϕ), 7 – organic content;

Folk-Ward's distribution parameters: Mz – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis.

Results of studies at Lipsk and other sites in the Biebrza Basin [1, 2, 7] indicates some periods of climatic changes and an increase of morphogenetic processes activity. Presence of peats dated at $7\ 050 \pm 60$ (MKL-4798) $6\ 033\text{--}5\ 789$ cal. yr BC on sandy sediments in profile L22 could be correlated with the older colluvial deposits at Lipowo site deposited after $7\ 020 \pm 70$ BP ($6\ 016\text{--}5\ 746$ cal. yr BC), which have been covered with peat-bog during the next humid period at the end of the Atlantic [2]. The origin of this sediment is still unexplained (during laboratory analysis). In profile L20 we are dealing with different age sequence. On the Preboreal peats enters the Boreal or Early Atlantic sandy sediments, which were covered by the Atlantic peats. Aeolian activity during this period is not excluded. Around the same time, that kind of activity took place near Grzędy site [7]. Within the non-fluvial segment of Wizna Basin, the dune complex is surrounded by peats whose thickness reaches 2 m and the bottom was ^{14}C dated at $10\ 135 \pm 90$ BP ($10\ 143\text{--}9\ 396$ cal. yr BC). The surface under the peats was transformed by aeolian processes at the end of the last glaciation and the Younger Dryas cooling resulted, in probably, that the complex of parabolic dunes was still active at the end of the Late Glacial and Early Holocene.

After the climate warming in the Preboreal starts the accumulation of peats but with short-time an increase of aeolian processes activity at the beginning of the Atlantic – $8\ 320 \pm 80$ BP ($7\ 542\text{--}7\ 141$ cal. yr BC) [7, 8]. These phenomena could have led to the appearance of sands at the bottom of the L20 profile between $9\ 880 \pm 100$ BP ($9\ 803\text{--}9\ 182$ cal. yr BC) and $7\ 350 \pm 110$ BP ($6\ 425\text{--}6\ 026$ cal. yr BC). After detailed sedimentological analyses, we will be able to answer the question of what kind of sediment and in what kind of sedimentological environment it was deposited (Fig. 3 – L20 and L22 profiles). Around the same time in the Wizna Basin had occurred macromeander at Ruś site cut off ^{14}C dated at $9\ 900 \pm 90$ BP ($9\ 762\text{--}9\ 231$ cal. yr BC) [1] and the beginning of peat accumulation on calcareous gyttja at Włochówka site ^{14}C dated at $10\ 290 \pm 120$ BP ($10\ 593\text{--}9\ 664$ cal. yr BC) [1]. The elevated form located near Lipsk certainly belongs to one of the most interesting archaeological sites in the Biebrza Basin. Its size and variety of documented settlement phases forces discussion mainly about the role it played in the context of environmental conditions determining the lifestyle of hunting and gathering communities. The technological and morphological characteristics correspond to the general «idea» of the Late-Mesolithic lithic technology of hunter-gatherer communities from the areas of north-eastern Poland from the beginning and the first half of the Atlantic period (comp. [1, 2]).

References

1. *Frączek M., Kalicki T., Wawrusiewicz A., Sanko A. F.* Kontekst środowiskowy i stratygrafia stanowiska archeologicznego Lipowo w Kotlinie Biebrzy (NE Polska) // *Acta Geographica Lodziensia*. 2018. T. 107. S. 25–37.
2. *Frączek M., Kalicki T., Wawrusiewicz A., Sanko A. F., Małęga E.* The hunter-gatherer communities from Upper Biebrza Basin – environmental context. Case study from Lipowo site (NE Poland) // *Geobalcanica Proc.* 2018. P. 87–93.
3. *Kalicki T.* Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holoceńskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich // *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*. 2006. T. 204.
4. *Kozarski S.* Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki środowiska i transformacja geosystemu (~20KA→10KA BP) // *Dokumentacja Geograficzna*. 1995 N 1.
5. *Marks L., Karabanov A. K.* Geological map of Polish–Belarusian cross-border area, Sokółka and Grodno area, 1 : 250 000. Warszawa, 2011.
6. Вальчик М. А. Развитие долинно-речной сети Белоруссии и Прибалтики в связи с деградацией валдайского ледникового покрова // *Гидрограф. сеть Белоруссии и регулирование речного стока / Под ред. Л. М. Широкова. Минск : Университетское, 1992. С. 3–10.*
7. *Wawrusiewicz A., Kalicki T., Przeździecki M., Frączek M., Manasterski D.* Grądy-Woniecko. Ostatni łowcy-zbieracze znad środkowej Narwi. Białystok : Muzeum Podlaskie w Białymstoku, 2017.
8. *Wawrusiewicz A., Kalicki T., Frączek M., Bęben A., Kasprzyk P., Szypul W., Żurek K.* Wyspa wśród bagien. Pierwsze wyniki badań archeologicznych i paleogeograficznych nad osadnictwem społeczności

subneolitycznych w Lipsku nad Górną Biebrzą, 9–12.12.2019 // Konferencja «Przeszłość ma przyszłość! / The past has a future!». Warszawa : Inst. Archeologii UW, 2019. P. 32–33.

9. Żurek S. Geomorphology of the Biebrza valley // Towards protection and sustainable use of the Biebrza Wetlands: Exchange and integration of research results for the benefit of a Polish-Dutch Joint Research Plan / Eds. H. Okruszko, M. J. Wassen. Utrecht, 1994. P. 15–47.

УДК 553.98(470+571)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПОГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ

С. А. Пунанова, А. В. Самойлова

ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук,
ул. Губкина, 3, 119333 Москва, Российская Федерация; punanova@mail.ru, anna-samoilova@mail.ru

Нефтегазоносность Предуральского и Енисей-Хатангского прогибов связана с Волго-Уральским нефтегазоносным бассейном и Енисейско-Анабарским газонефтеносным бассейном. В статье на материале этих двух близких по тектонической терминологии структур (обе являются краевыми предорогненными прогибами) выявлены не только черты их сходства, но и существенные различия, приведшие к особенностям как их углеводородных систем, так и к обнаруженным и прогнозируемым в древних и молодых нефтегазоносных комплексах особенностям ловушек неструктурного типа.

Ключевые слова: нефтегазоносный бассейн; неструктурные ловушки; краевые прогибы; органическое вещество; древние платформы; нефтегазоносные комплексы.

В статье рассматриваются особенности углеводородных (УВ) систем краевых (передовых, предорогненных) Предуральского и Енисей-Хатангского прогибов древних платформ – Восточно-Европейской и Восточно-Сибирской. Нефтегазоносность этих прогибов связана с Волго-Уральским нефтегазоносным бассейном (НГБ) и Енисейско-Анабарским газонефтеносным бассейном (ГНБ). Задачей исследования является детальный анализ возраста продуктивных комплексов древних платформ, типа и количества содержащегося в них органического вещества (ОВ), степени его катагенной преобразованности, фазового состояния добываемых флюидов, свойств нефтей и газов этих прогибов. Материал статьи является обобщением, дающим общую картину условий и среды нефтегазоносности, и базируется как на справочном материале [1–4], так и на личных разработках авторов [5–8].

Оценка перспектив нефтегазоносности невозможна без изучения формирования и структуры ловушек. В НГБ с длительной историей освоения ресурсов УВ низка вероятность открытия крупных месторождений нефти и газа, приуроченных к антиклинальным структурам. Эта тенденция проявляется при поисках месторождений УВ сырья на территории не только российских, но и многих зарубежных НГБ, в которых добыча нефти и газа ведётся многие десятилетия и где создана необходимая инфраструктура и сконцентрированы трудовые ресурсы. В связи с этим, необходимость изучения проблемы ловушек не вызывает сомнений. О значении типа ловушек и их перспективности с точки зрения ресурсов свидетельствуют многолетние исследования, проведённые группой специалистов [9]. Авторы показывают значимость в мировых запасах УВ сырья открытия месторождений с ловушками различного происхождения: комбинированных, стратиграфических, структурных. Особый статус придаётся ловушкам клиноформных структур, ловушкам в выступах фундамента и сланцевых формациях (так называемые протяжённые или тонкие). Именно с этими типами ловушек в настоящее время связаны открытия месторождений с крупными и гигантскими запасами УВ.

В *Предуральском* прогибе расположены Соликамская, Юрюзано-Сылвенская, Бельская впадины и Косьвинско-Чусовская седловина. Эти структуры протягиваются в меридиональном направлении с севера на юг.

Волго-Уральский НГБ платформенного типа, обладающий наибольшими в России ресурсами УВ, имеет длительную историю освоения крупных месторождений УВ, приуроченных в основном к антиклинальным структурам. Поскольку перспективными в плане нефтегазоносности являются глубокопогружённые отложения рифея и венда на территории Юрюзано-Сылвенской и Бельской впадин, а также внешней зоны Предуральского прогиба, то успешный поиск новых промышленно значимых объектов добычи УВ связан, вероятнее всего, с ловушками неструктурного, неантиклинального типа.

В последние годы наблюдается устойчивое повышение интереса к проблеме нефтегазоносности рифей-вендского комплекса древней Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба. Это обусловлено, с одной стороны, высокой степенью освоенности ресурсов УВ палеозойских отложений Волго-Уральского НГБ, с другой – получением новых данных о строении и нефтегазоносности рифей-вендского комплекса. По результатам комплексного литолого-стратиграфического, геохимического и гидрогеологического изучения, а также исследований истории тектонического развития и данных МОГТ установлено, что рифей-вендские отложения обладают всеми необходимыми признаками, определяющими реальную возможность обнаружения в них скоплений углеводородов [4, 5, 8, 10].

В каждом НГК Волго-Уральской НГБ встречены практически все типы УВ скоплений: нефтяные, газовые и газоконденсатные. Используя физико-химическую характеристику нефтяных, а также результаты детальных исследований их УВ состава на молекулярном уровне, нами выделены 4 геохимических типа нефтей: протерозойский, девонский, каменноугольный и пермский [8]. Протерозойский тип нефти приурочен к отложениям рифея и венда. Нефти верхнего протерозоя существенно отличаются от нефти вышележащих отложений палеозоя и обособляются в самостоятельный геохимический тип. Анализ зависимости свойств нефтей от возраста и глубины вмещающих пород протерозоя отражает их устойчивое однообразие: плотность меняется от 0,950 до 0,980 г/см³, содержание составляет: серы – 0,2–1,2 %, твёрдых парафинов – 0,6–2,7 %, суммы смол и асфальтенов – 18,8–27,9 %, а выход бензиновых фракций – 1–5 %. Среднее содержание V составляет 50 мг/кг, а Ni – 38 мг/кг. Таким образом, протерозойский тип – это нефть с высокой плотностью, высоким содержанием смолисто-асфальтеновых компонентов, низким содержанием лёгких и особенно бензиновых фракций и твердых парафинов. Существенно отличает эти нефти их низкая сернистость [1, 2].

Енисей-Хатангский региональный прогиб, также, как и Лено-Анабарский мегапрогиб и Хатангская седловина, расположен в пределах Енисейско-Анабарского ГНБ; последний является частью Восточно-Сибирского регионального пояса нефтенакпления древней Восточно-Сибирской платформы. Бассейн сформировался в результате столкновения и деформирования пассивных окраин двух плит: Северо-Сибирской и Южно-Таймырской. Породы Северо-Сибирской пассивной окраины накапливались с рифея до середины триаса ($R-T_2$) и были деформированы в позднем триасе-ранней юре (T_3-J_1) при столкновении палеоконтинентов. На смятый переходный комплекс фанерозоя был наложен Енисей-Хатангский краевой прогиб. В последующем, в поздней юре-раннем мелу (J_3-K_1) на северную часть этого прогиба был надвинут Таймыр.

Нефтегазоносность бассейна приурочена к двум геологическим этажам: нижнему (пермо-триасовому, $P-T$) и верхнему (юрско-меловому, $J-K$). В разрезе *нижнего этажа* установлены два нефтегазоносных комплекса: *нижне-верхнепермский* и *триасовый*; а в отложениях *верхнего этажа* – три газонефтеносных комплекса: *юрский*, *нижнемеловой* и *верхнемеловой*. Типы структур – это, как правило, антиклинальные (брахиантиклинальные) поднятия с многочисленными структурными осложнениями в виде куполовидных форм (например, в месторождениях Пеляткинское, Северо-Соленинское и др.) и тектонических блоков [2, 3].

Основные перспективы газонефтеносности в Енисейско-Анабарском бассейне связаны как с верхним структурным этажом, так и с отложениями нижнего переходного этажа. По данным ряда исследователей [11, 12], в Енисей-Хатангском региональном прогибе нижняя часть неокомского комплекса имеет ярко выраженное клиноформное строение (рис. 1). Предполагается, что на этапе формирования клиноформного комплекса Таймырское обрамление представляло собой низменную равнину и терригенный материал в Енисей-Хатангский прогиб поступал с Сибирской платформы. Поэтому в изучаемом регионе наибольший интерес в отношении нефтегазоносности представляют берриас-аптские отложения. Залежи УВ могут быть обнаружены как в антиклинальных, так и в сложнопостроенных ловушках неструктурного типа, связанных с шельфовыми и бассейновыми песчаными пластами клиноформного комплекса.

Для сравнения приведем схему-модель клиноформного комплекса, сформированного турбидитными потоками в отложениях верхнеюрско-валанжинских отложений в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины. А. Л. Наумовым [13] была обоснована и разработана принципиально новая косослоистая модель строения разреза неокома Западно-Сибирского НГБ. Было впервые показано графически (рис. 2), что неокомские пласты не только скользят по возрастной вертикали, что уже ранее отмечалось другими специалистами, но и имеют наклон к западу, налегая друг на друга. При дальнейшем исследовании клиноформных ловушек необходимо уделять внимание не только фациально-палеографическому фактору, но и придавать должное значение тектонике, связи клиноформ того или иного возраста с определёнными тектоническими элементами, а также детальной корреляции пронизываемых пластов.

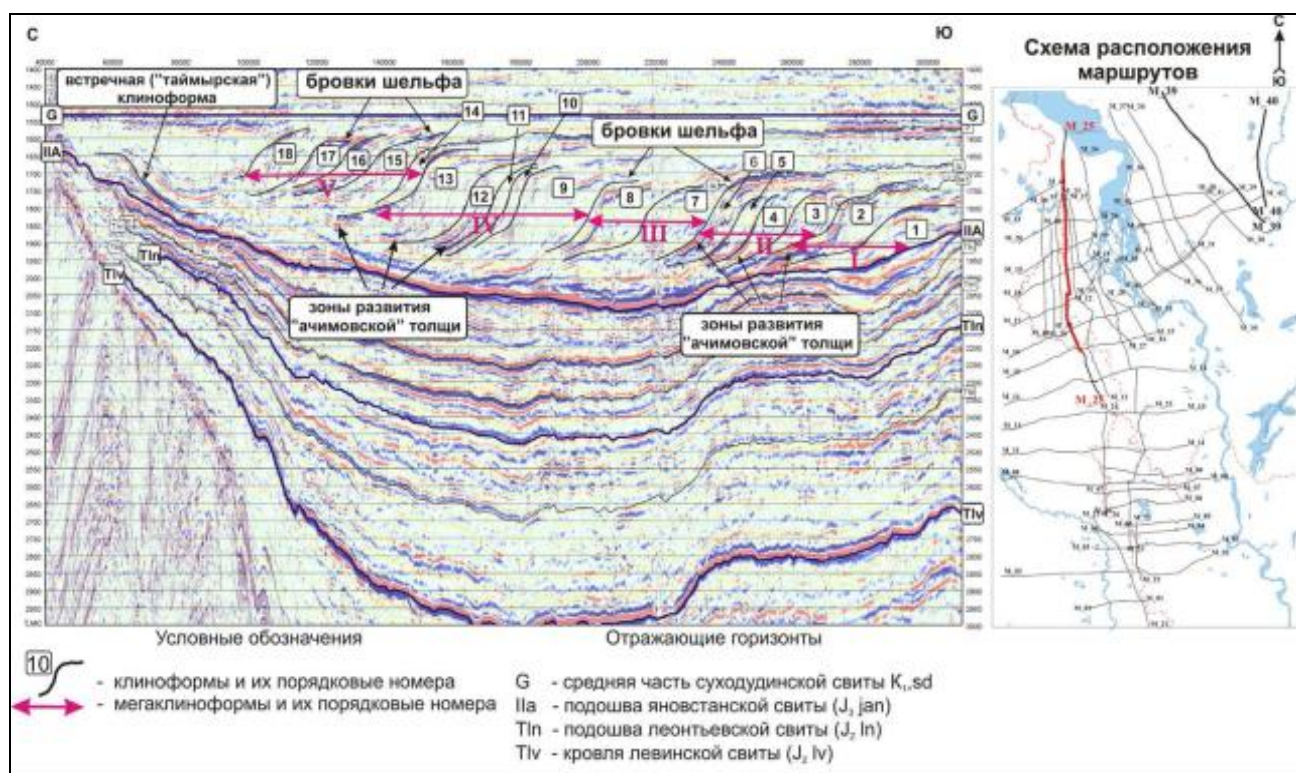


Рисунок 1 – Сейсмогеологическая модель клиноформного комплекса Енисей-Хатангского регионального прогиба по маршруту 25 (по материалам ОАО «СибНАЦ») [12]

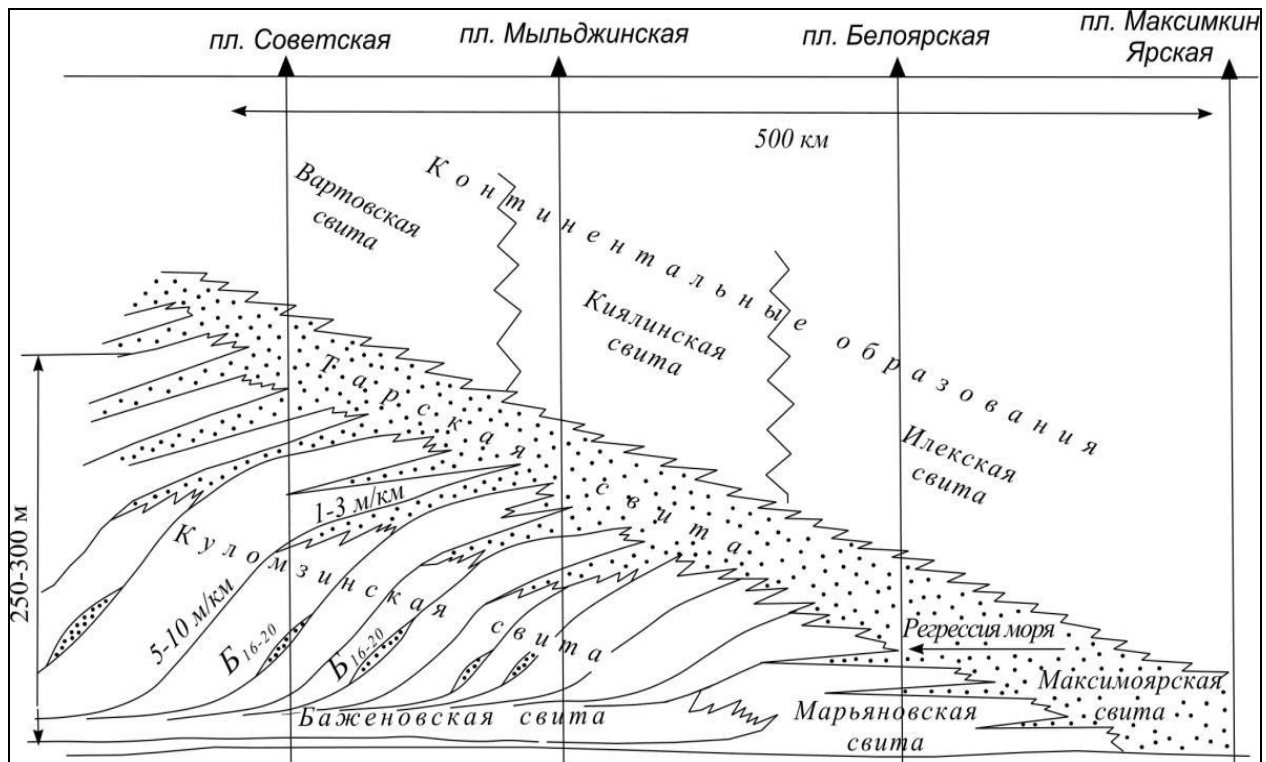


Рисунок 2 – Принципиальная схема формирования верхнеюрско-валанжинских отложений в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины [13]

Таким образом, анализ нефтегазоносности краевых (предорогенных) Волго-Уральского и Енисей-Хатангского прогибов показал, как черты их сходства, так и различия. Были использованы данные о возрасте и числе продуктивных комплексов, типе и количестве содержащегося в них органического вещества, степени его катагенной преобразованности, составе нефтей и газов, количестве месторождений и фазовом состоянии добываемых флюидов 2 прогибов. Не останавливаясь на деталях, изложенных подробно в наших предыдущих работах [6, 7], отметим, что главные отличия проявляются в нефтеносности Предуральского прогиба и газоносности Енисей-Хатангского прогиба. Преобладание нефтяных залежей в Предуральском прогибе и газовых в Енисей-Хатангском обусловлено разным типом ОВ и стадией его катагенеза.

Также существенные отличия связаны с особенностями формирования ловушек. Для Предуральского прогиба характерна комбинация ловушек различного генезиса с преобладанием структурных и литологических типов. В перспективном глубокопогружённом рифей-вендском комплексе прогнозируются неструктурные ловушки комбинированного типа, обусловленные разломами кристаллического фундамента, аномальными зонами различного генезиса (разуплотнение пород, кавернозность, древние коры выветривания на границах стратиграфических несогласий), возможны биогермные тела в карбонатных толщах.

Западная часть Енисей-Хатангского прогиба, тяготеющая к восточной окраине Западной Сибири, характеризуется в мезозойских отложениях «ачимовским» типом неструктурных клиноформных ловушек, что значительно повышает перспективность их газонефтеносности. В глубокопогружённых отложениях (нижний нефтегазоносный комплекс) могут быть обнаружены неструктурные ловушки комбинированного типа с преобладанием поднадвиговых ловушек выклинивания, литологического замещения и тектонически-экранированных; возможны ловушка в разуплотненных массивах древнего фундамента, в трещиноватых гранитных блоках.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловушках комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов», АААА-А19-119022890063-9.

Библиографические ссылки

1. Клещев К. А., Шеин В. С. Нефтяные и газовые месторождения России : Справ. в 2 кн. М. : ВНИГНИ, 2010.
2. Шеин В. С. Геология и нефтегазоносность России. М. : ВНИГНИ, 2012.
3. Шеин В. С., Фортунатова Н. К., Алференок А. В., Долматова И. В., Елагина Я. Е., Каламкаров С. Л., Книп А. А., Петров А. И., Соборнов К. О., Лебедько Г. И. Геодинамическая эволюция и тектоническое районирование Восточно-Европейской платформы // Геология нефти и газа. 2013. № 6. С. 5–14.
4. Белоконь Т. В., Горбачёв В. И., Балашова М. М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь : ИПК «Звезда», 2001.
5. Трофимов В. А., Чепикова И. К., Пунанова С. А. Особенности нефтегазоносности рифейско-вендских отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Прогноз нефтегазоносности фундамента молодых и древних платформ: Тез. докл. Международ. науч.-практ. конф. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2001. С. 348–350.
6. Пунанова С. А., Самойлова А. В. Особенности нефтегазоносности прогибов древних платформ (на примере Волго-Уральского и Енисей-Хатангского) // Акт. проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 2 (25) [Электрон. ресурс]. URL: <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-25.art7> (дата обращения: 20.05.2020).
7. Пунанова С. А. Углеводородные системы краевых прогибов древних платформ // Экспозиция – Нефть – Газ. 2019. № 2 (69). С. 20–24.
8. Пунанова С. А., Гордадзе Т. И. Геохимические особенности нефтегазоносных комплексов палеозойских отложений Волго-Уральской провинции // Разведка и охрана недр. 1999. № 5–6. С. 51–54.
9. Dolson J., He Zhiyong, Horn B. W. Advances and Perspectives on Stratigraphic Trap Exploration-Making the Subtle Trap Obvious // Search and Discovery. Art. N 60054. June 18, 2018.
10. Грунис Е. Б., Трофимов В. А., Богданов Б. П., Чепикова И. К., Пунанова С. А. Перспективы нефтегазоносности рифейско-вендского комплекса: от небольших залежей – к решению проблемы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2001. № 11. С. 33–38.
11. Фомин М. А. Тектонические предпосылки нефтегазоносности юрско-меловых отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 11. С. 14–25.
12. Афанасенков А. П. Перспективы изучения нефтегазоносности отдельных регионов России на примере Гыдано-Хатангской и Анабаро-Ленской нефтегазоперспективных зон (с привлечением материалов НИИ ГА ПГО «Севморгеология», ОАО «Гаймыргеофизика», ИНГГ СО РАН, СНИИГГиМС, ОАО НПЦ «Геостра», ОАО «СибНАЦ», ГНЦ ФГУГП «ЮжморГеология», ФГУП ВСЕГЕИ) : докл. на заседании Роснедра. М. : ВНИГНИ, 2014.
13. Наумов А. Л. К методике реконструкции рельефа дна Западно-Сибирского раннемелового бассейна // Геология и геофизика. 1977. № 10. С. 38–47.

НЕСТРУКТУРНЫЕ ЛОВУШКИ ПРИБОРТОВОЙ ЗОНЫ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ НА ПРИМЕРЕ РОВЕНСКО-КРАСНОКУТСКОГО ВАЛА (САРАТОВСКАЯ И ВОЛГОГРАДСКАЯ ОБЛАСТИ)

А. В. Самойлова

ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук,
ул. Губкина, 3, 119333 Москва, Российская Федерация; anna-samoilova@mail.ru

На основании обобщения имеющегося фактического материала рассматривается геологическое строение Ровенско-Краснокутского вала, расположенного на территории Саратовской и Волгоградской обл. Неструктурные ловушки этой части прибортовой зоны Прикаспийской впадины представлены рифовыми образованиями, выявление закономерностей размещения которых, наряду с определением взаимосвязей между коллекторскими свойствами пород и обстановками осадконакопления, является приоритетной задачей для нефтегазового комплекса этого региона.

Ключевые слова: рифовые залежи; месторождение; Ровенско-Краснокутский вал; неструктурные ловушки; нефтегазодобыча.

Исследуемый район – Ровенско-Краснокутский вал – территориально располагается на юге Саратовской и на границе с северной частью Волгоградской обл.. В тектоническом плане Ровенско-Краснокутский вал является компонентом системы линейных валообразных поднятий и прогибов, осложняющих крайнюю северо-западную часть бортовой зоны Прикаспийской впадины (рис. 1). В юго-западной части вала выявлен ряд нефтяных и газовых месторождений. Продуктивность месторождений связана с рифовыми постройками, осложняющими антиклинальные поднятия. Нефтеносными являются верхнефранско-нижнефаменские и нижнефаменско-турнейские отложения, газоносными – отложения раннего карбона.

На территории Ровенско-Краснокутского вала прослеживаются три стратиграфических уровня биогермообразования: верхнефранско-нижнефаменский, нижнефаменско-турнейский и алексинско-черемшано-прикамский [2]. На юго-восточном краю зоны распространения рифов выделяется бортовой седиментационный уступ, отмечающий границу распространения рифов. Верхнефранско-нижнефаменские барьерные рифы имеют преимущественно меридиональное простирание и прослеживаются в виде полосы шириной до 12 км.

Плащеобразное залегание отложений, покрывающих девонские рифы Ровенско-Краснокутского вала в виде однообразного литолого-фациального облика, свидетельствует об отсутствии или малых амплитудах тектонической активности. Прямым клиноформам отвечают карбонатные комплексы отложений: верхнедевонско-нижнекаменноугольного (саргавско-турнейский), ниже-среднекаменноугольного (окско-нижнебашкирский), среднекаменноугольного-нижнепермского (каширско-артинский) возраста; обратным – терригенно-карбонатный нижнекаменноугольный (малиновско-тульский), терригенный среднекаменноугольный (верхнебашкирско-верейский), соленосный кунгурского возраста.

Рифогенные залежи характеризуются разнообразным распространением нефтенасыщенных коллекторов внутри рифовой постройки: от массивных до хаотичных, линзовидно-пластовых, что связано с влиянием многочисленных факторов – разнообразием геологического строения, гидродинамического режима и флюидалных систем. Поиск рифовых объектов методами сейсморазведки является сложнейшей задачей, т. к. по сравнению с терригенными залежами отсутствуют границы двух сред с отличающимися упругими свойствами: «песок-глина» [1, 3]. Рифогенные постройки, к которым приурочены залежи нефти и газа в

ловушках неструктурного типа, широко распространены и имеют большое значение в общем балансе нефтедобычи (рис. 2).

«Эталон» рифового направления нефтегазодобычи на Ровенско-Краснокутском валу является месторождение Белокаменное, которое было открыто в 1989 г. и хорошо изучено бурением. Месторождение располагается на юге Саратовской и северной границе Волгоградской обл. и приурочено к вехнерафранской рифогенной зоне. В геологическом отношении месторождение Белокаменное расположено во внешней части бортовой (северо-западной части) зоны Прикаспийской впадины. На Белокаменном месторождении выявлены продуктивные залежи в коллекторах евлано-ливенского, бобриковского, малевского и заволжского возраста.

Со времени открытия в 1989 г. на территории Ровенско-Краснокутского вала месторождения Белокаменное не затихают споры о генетической природе месторождения. Так, В. А. Абрамов в работе «Белокаменное месторождение – риф или ловушка иного типа?» на основе проведённого им корреляционного анализа ставит под сомнение рифогенное происхождение месторождения и приводит вероятную модель формирования и строения ловушки углеводородов на Белокаменном месторождении [5, 6]. В работах Н. Д. Лихого рассматриваются проблемы поддержания пластового давления при разработке Белокаменного месторождения, особенности строения карбонатной покрышки Белокаменного месторождения, а также приводятся результаты моделирования геологического строения и разработки Белокаменного месторождения с помощью программного комплекса «Массив» [8, 9].

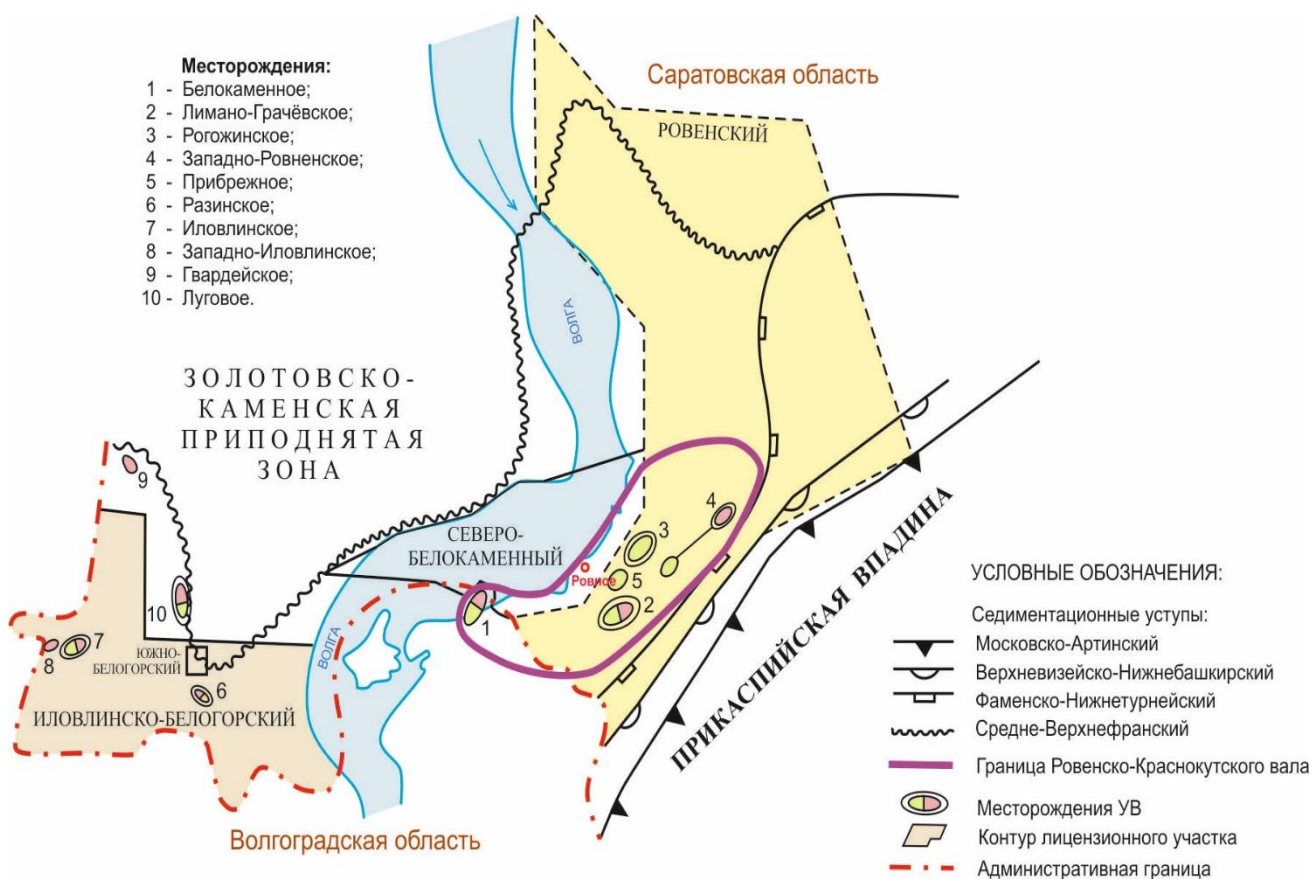


Рисунок 1 – Геологическая карта юга Саратовской обл. (по материалам [1])

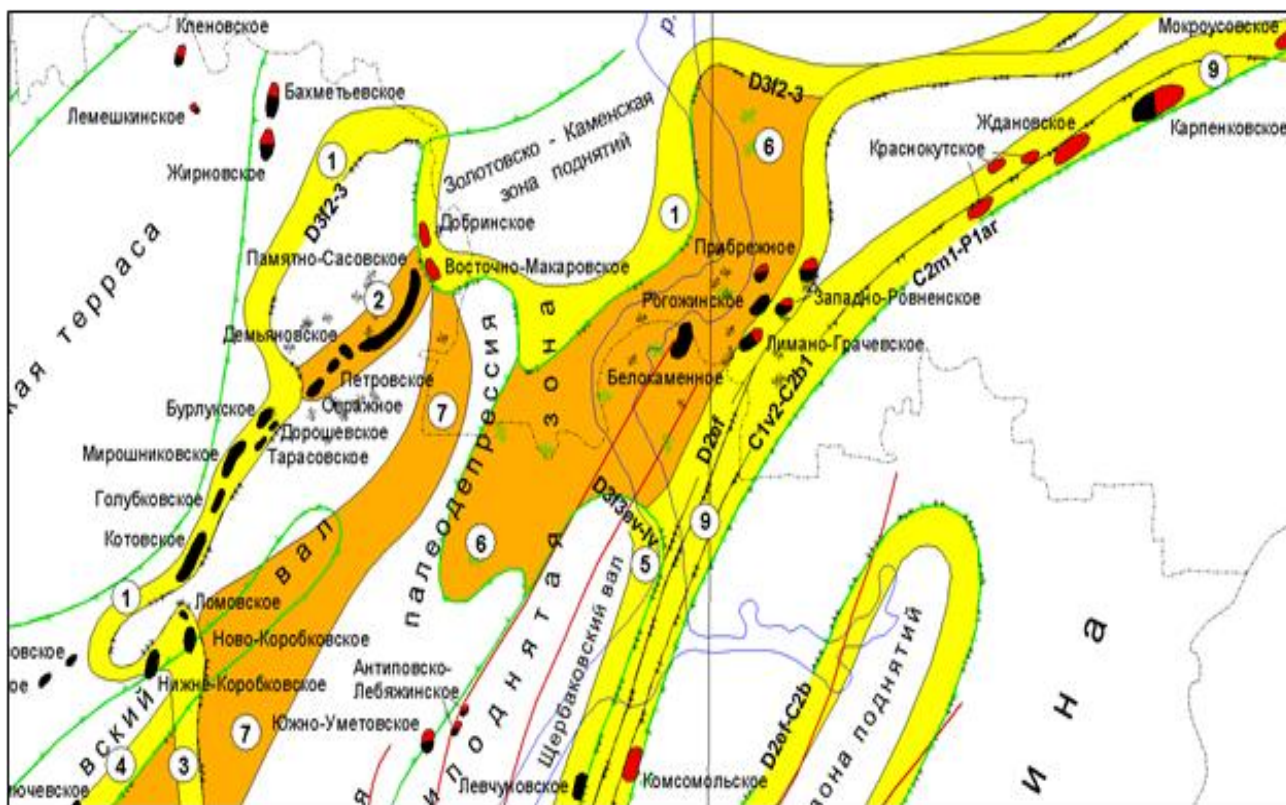


Рисунок 2 – Фрагмент карты зон нефтегазоаккумуляции в палеозойских рифах Волгоградского Поволжья [4]

Залежь месторождения Белокаменное приурочена к двухкупольной постройке, вытянутой в северо-восточном направлении. Анализируя опубликованные результаты изучения образцов пород, взятых на месторождении Белокаменное, отмечено присутствие многочисленных остатков водорослей: *Girvanella litania Tchusovensis* sp., *Malarh Tchuv* and *Nodosinella tssinella* и др. По мнению В. Г. Кузнецова, И. К. Королюк, М. В. Михайловой и других учёных, это является первым свидетельством рифового происхождения структуры [7].

В пределах Ровенско-Краснокутского вала выявлены 3 месторождения, связанные с рифами – Лимано-Грачевское, Белокаменное и Западно-Ровненское.

Исходя из анализа рассмотренного материала можно констатировать следующее.

Белокаменное месторождение, расположенное большей своей частью под акваторией р. Волга, представляет собой типичный пример поиска, освоения, разработки недоразведанного месторождения и пример необходимости научно-исследовательского анализа проблем, связанных с изучением рифогенных залежей в ловушках неструктурного типа. При исследовании и разработке рифовых резервуаров возникает множество трудностей, обусловленных значительной неоднородностью, сменой циклов осадконакопления, неравномерным развитием трещиноватости и др.

Сложное строение рифов необходимо учитывать при составлении рациональной схемы разработки месторождений и оптимизации работы. Комплексное использование тектонического анализа и геолого-геофизических методов на основе современных представлений о роли геодинамических процессов, влияющих на структурные особенности строения залежей, даёт возможность по-новому оценить перспективность нефтегазоносности Ровенско-Краснокутского вала с целью выявления рифогенных тел девонского возраста.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловуш-

как комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов», АААА-А19-119022890063-9.

Библиографические ссылки

1. Феоктистов А. В., Феоктистов В. А. Геологическая эффективность структурно-формационной интерпретации и её контроль на примере «рифового направления» ГРП // Приборы и системы разведоч. геофизики. 2012. Т. 20, № 2. С. 5–12.
2. Щеглов В. И. Стратиграфия Ровенского лицензионного участка. Саратов : НВНИИГГ, 2000. 163 с.
3. Ивановский А. Б. Главнейший фактор рифообразования // Докл. АН. 1999. Т. 366, № 3. С. 575–577.
4. Чепелюгин А. Б., Шереметьева Г.А. Закономерности строения и распространения месторождения нефти и газа в палеозойских рифовых комплексах Прикаспийской впадины и её обрамления и обоснование приоритетных направлений поисков новых месторождений в Волгоградском Поволжье (создание электронной версии альбома). М. : ЗАО «Институт Эксперт – Экология», 2000.
5. Абрамов В. А. Белокаменное месторождение-риф или ловушка иного типа // Недра Поволжья и Прикаспия. 1994. № 7. С. 7–9.
6. Абрамов В. А. Вероятная модель формирования и строения ловушки углеводородов на Белокаменном месторождении // Недра Поволжья и Прикаспия. 2001. № 26. С. 36–41.
7. Королюк И. К., Михайлова М. В., Равикович А. И., Краснов Е. В., Кузнецов В. Г., Хатьянов Ф. И. Ископаемые органогенные постройки, рифы, методы их изучения и нефтегазоносность. М. : Наука, 1975.
8. Лихой Н. Д. Особенности строения карбонатной покрывки Белокаменного месторождения // Недра Поволжья и Прикаспия. 2001. № 28. С. 22–26.
9. Лихой Н. Д. Оценка упругоёмкости резервуара при контроле за разработкой Белокаменного месторождения // Недра Поволжья и Прикаспия. 2000. № 23. С. 11–15.

УДК 553.982:550.4

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФАЗОВО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ ЗАЛЕЖЕЙ В КОМБИНИРОВАННЫХ ЛОВУШКАХ

С. А. Пунанова

ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук,
ул. Губкина, 3, 119333 Москва, Российская Федерация; runanova@mail.ru

Рассмотрено распределение микроэлементного (МЭ) состава нефтей и конденсатов Западной Сибири, Туркмении, Прикаспия, Новой Зеландии и некоторых других регионов. Используются как литературные, так и аналитические исследования автора. Факт наличия МЭ в лёгких фракциях углеводородных (УВ) флюидов и выявленные генетические различия нефтей и конденсатов позволяют привлекать МЭ состав флюидов в комбинированных ловушках для целей практического его использования.

Ключевые слова: микроэлементный состав, комбинированные ловушки, нефти, газоконденсатные системы, типы залежей

Распределение МЭ по их приуроченности к нефтяным фракциям (температурная разгонка) и определённым компонентам нефтей позволяет считать, что при переходе от тяжёлых нефтей к лёгким и далее к конденсатам меняется как содержание МЭ (оно значительно убывает), так и порядок их концентрационного распределения: в конденсатах существенное значение приобретают элементы, концентрирующиеся в лёгких фракциях [1].

Анализ фактического материала по распределению МЭ в конденсатах свидетельствует о том, что существуют две группы газоконденсатных систем, различающихся по концентрациям МЭ, и связано это, скорее всего, с типом исходного ОБ.

Определение МЭ в конденсатах сопряжено с большими методическими трудностями, поэтому к настоящему времени банк данных по содержанию МЭ в конденсатах всё ещё ограничен. Впервые И. С. Старобинцем и Э. В. Курганской [2, 3] методом нейтронно-активационного анализа было проведено детальное изучение конденсатов и нефтей Туркмении. Несмотря на практически отсутствие асфальтово-смолистых веществ, в конденсатах были найдены те же элементы, что и в нефтях, но в значительно меньших концентрациях. В табл. 1 показано распределение МЭ в нефтях и конденсатах Западной Туркмении (плиоцен) и Аму-Дарьинской впадины (верхняя юра). Отмечено, что в Западной Туркмении, как правило, залежи сконцентрированы в ловушках неантиклинального типа, в сложных ловушках комбинированного строения, ограниченных как тектоническими, так и стратиграфическими экранами. Все исследованные МЭ по их содержанию в конденсатах разделены на три группы: $(>5) \cdot 10^{-5} \%$ – значимые концентрации Fe, Cr, K, Cl, Br, I; $(1-5) \cdot 10^{-5} \%$ – средние концентрации Rb, Sr, Mn, Na, Co, Zn, Cu; $(<1) \cdot 10^{-5} \%$ – низкие концентрации Hg, Sb, Sc, Cs.

Таблица 1 – Средние соотношения МЭ в конденсатах и нефтях Средней Азии [3]

Регион	Возраст	флюид	Br/I	K/Na	Fe/Co	Fe/Ni	Ni/Co	U/Ni
Западная Туркмения	плиоцен, красноцвет	конд.	4,7	60	25	11	2,3	0,66
		нефть	0,17	10	50	3,7	192	0,27
Аму-Дарьинская впадина	нижний мел	конд.	0,24	200	185	–	–	–
		нефть	1,9	39	510	–	–	–
	верхняя юра	конд.	5,1	4,9	8,4	50	0,17	1,0
		нефть	18,0	2,6	154	4	56	0,19

Изменения содержаний МЭ в конденсатах зависят от ряда причин. В их числе: концентрации МЭ в нефтях, с которыми контактируют конденсатные залежи, доля низкокипящих УВ фракций, термобарические условия залегания газоконденсатов и др.

Близкая картина распределения МЭ в нефтях и конденсатах характерна для платформенной части Средней Азии, где преобладают газоконденсатные залежи с небольшими нефтяными оторочками. В то же время, несмотря на существование параллелизма в характере распределения МЭ в нефтях и конденсатах, наблюдаются отличия по соотношению концентраций отдельных пар МЭ с близкими химическими свойствами, но с различной атомной массой (табл. 1). Например, в конденсатах Аму-Дарьинской впадины, по сравнению с нефтями, концентрируются I, K, Fe, Zn, а в нефтях соответственно Br, Na, Ni, Rb. Тип ловушек меняется от структурных до неантиклинальных при приближении к геосинклинальной части региона.

Как и следовало ожидать из распределения МЭ по нефтяным фракциям [4], такие элементы как V, Ni, Co в конденсатах обнаружены в очень низких концентрациях, тогда как содержания I, Cl, Br, Fe довольно высоки.

Большой спектр МЭ, идентифицированных методом нейтронно-активационного анализа в нефтях и конденсатах Западной Туркмении, Амударьинской впадины, а также Северо-Варьганского месторождения Западной Сибири, был сгруппирован нами согласно геохимической классификации А. И. Заварицкого и показан на рис. 1.

Общее содержание МЭ в исследованных УВ флюидах очень низкое. Практически независимо от возраста продуктивных отложений в каждой из выделенных геохимических групп элементов содержание МЭ изменяется от высоких величин до низких, образуя максимумы – K, Fe–Ni, Cu, Se, I–Br, La и минимумы концентраций – Cs, Co–V, Pb–Au, Sb, Sc, I. Для боль-

шинства месторождений отмечается симбатная картина распределения содержаний МЭ (с небольшими отклонениями) в нефтях и конденсатах. Сравнение МЭ состава нефтей и конденсатов Западно-Варьеганского месторождения свидетельствует об их генетическом единстве. Известно, что в пределах Западной Туркмении распространены преимущественно вторичные газоконденсатные залежи, образовавшиеся за счёт ретроградного испарения в газовую шапку части бензино-керосиновых фракций нефтей. Это важный аргумент в пользу единства генезиса УВ систем в рассматриваемом регионе.

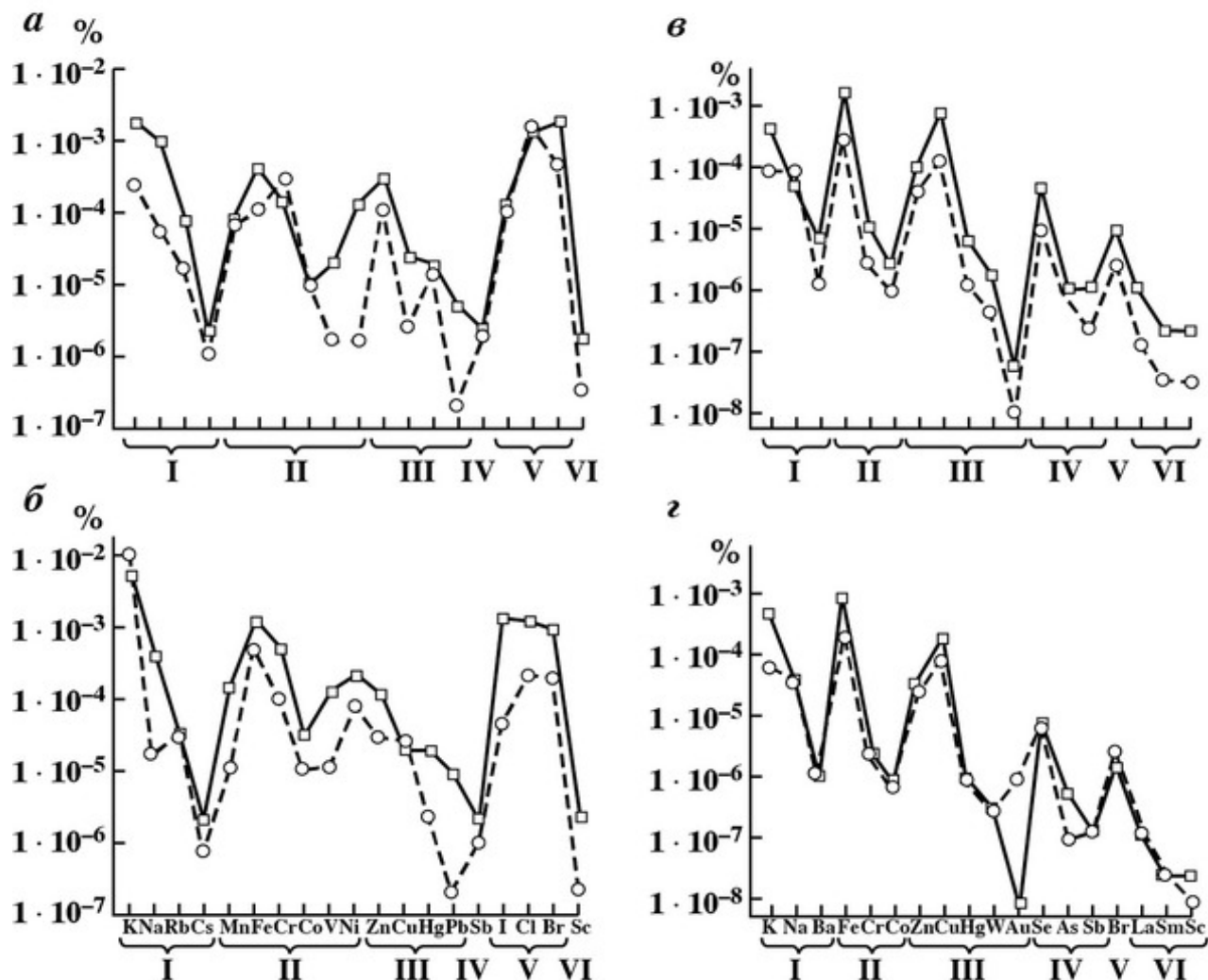


Рисунок 1 – Распределение микроэлементов в нефтях (сплошная линия) и конденсатах (пунктир) Аму-Дарьинской впадины (а), Западной Туркмении (б) и Западной Сибири (в – палеозой, г – юра)
 I. Элементы горных пород – K, Na, Rb, Cs; II. Элементы группы Fe – Mn, Fe, Cr, Co, V, Ni; III. Элементы металлические рудные – Zn, Cu, Hg, Pb, W, Au; IV. Элементы металлоидные – Sb, Se, As; V. Галоиды – I, Cl, Br; VI. Редкие элементы – Sc, La, Sm.

На рис. 2 в обобщенном варианте нами показано распределение более широкого комплекса МЭ (30 элементов) в нефтях и вторичных газоконденсатных системах Средней Азии, Прикаспия и Западной Сибири (по усредненным данным). Элементы расположены по убыванию их содержания в нефтях, и кривая изменения концентраций МЭ в нефтях плавно спускается от максимальных величин содержания МЭ (Cl, V, Fe и др.) до минимальных величин содержания МЭ (Ge, Sm–Th).

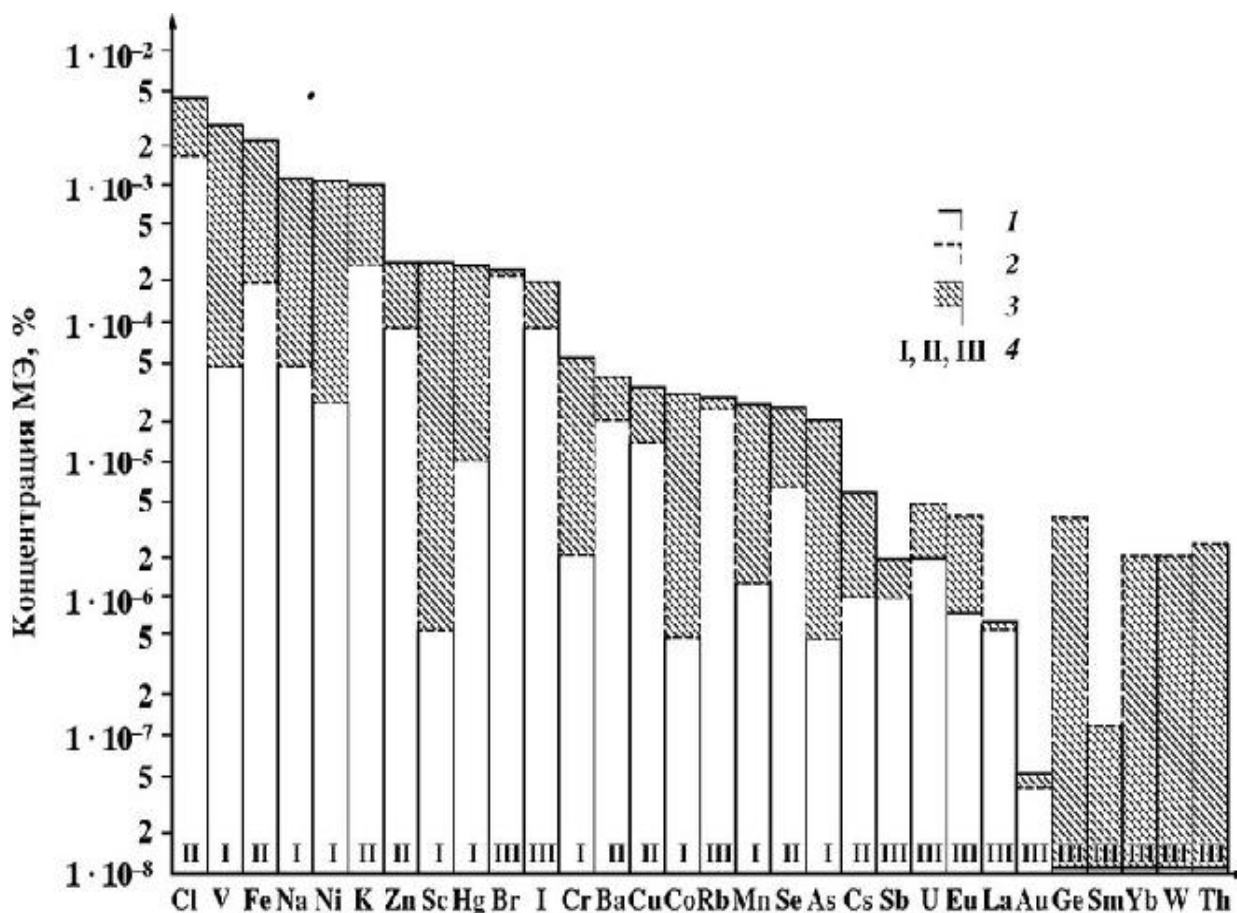


Рисунок 2 – Сравнение микроэлементного состава нефтей и газоконденсатов
 Кривые распределения микроэлементов: 1 – в нефтях; 2 – в газоконденсатах; 3 – величина разницы в концентрациях; 4 – группы элементов, в соответствии с характером их распределения в исследуемых нефтях.

В рассматриваемую выборку вошли «ванадиевые» нефти, обогащенные МЭ, характеризующиеся отношением $V/Ni > 1$. Исходя из графика, все обнаруженные в нефтях элементы по их соотношению в нефтях и конденсатах мы разделяем на три группы.

I. Элементы, концентрация которых в нефтях существенно выше (более чем на порядок), чем их концентрация в конденсатах – V, Na, Ni, Sc, Hg, Cr, Co, Mn, As.

II. Элементы, концентрация которых в нефтях менее, чем на порядок, выше по сравнению с их концентрацией в конденсатах – Cl, Fe, K, Zn, Ba, Cu, Se, Cs.

III. Элементы, концентрация которых в конденсатах выше, чем в нефтях – Sm, Yb, W, Th, Ge, Eu, U, или очень близка – Br, I, Rb, Sb, La, Au.

Генетический показатель V/Ni в изученных флюидах не трансформировался и остался выше 1. Первую группу представляют элементы, ассоциированные во флюидах в основном с тяжёлыми асфальтово-смолистыми компонентами. Вторая и третья группы объединяют те элементы, которые могут тяготеть к лёгким компонентам нефтей [5, 6].

Кроме того, представленные данные свидетельствуют о том, что в конденсатах некоторые МЭ накапливаются в более высоких концентрациях по сравнению с нефтью. Последнее обстоятельство связано с различной растворимостью металлоорганических соединений в сжатых газах. Увеличение содержания определённых элементов в конденсатах можно связать также с ужесточением термобарических условий, когда под действием давления в газоконденсатную смесь переходят всё более тяжёлые фракции, и, следовательно, и МЭ, содержащиеся в них.

Исходя из характера распределения МЭ в нефтях и конденсатах исследованных НГБ, предлагается проводить дифференциацию разрабатываемых систем, используя абсолютные концентрации тех элементов, которые в нефтях и конденсатах различаются более чем на порядок (табл. 2).

Критерии отличия нефтей и газоконденсатов связаны с абсолютными концентрациями МЭ, изменяющимися в изучаемых УВ системах более, чем на порядок (например, V, Na, Ni, Sc, Hg, Cr, Co, Mn, As). Кроме абсолютных содержаний МЭ, диагностическими показателями вторичных газоконденсатных залежей могут служить отношения содержаний МЭ: V/Zn, Ni/Zn, V/Cu, Ni/Cu, V/Br, Ni/Br, Co/Zn, Sc/Ba (в числителе элементы, накапливающиеся в тяжёлых компонентах нефтей, а в знаменателе – в лёгких), которые имеют тенденцию к стабильному снижению от нефтей к конденсатам. Различия в МЭ составе газоконденсатов и нефтей могут быть использованы для мониторинга перемещения газонефтяных контуров при разработке газоконденсатных месторождений. Установлено, что увеличение значений этих соотношений в добываемых конденсатах свидетельствует о приближении к устью скважины нефтяной оторочки [8].

Таблица 2 – Микроэлементные показатели отдельного прогноза углеводородных флюидов [7]

МЭ	Концентрация МЭ, %		Тенденция изменения концентрации МЭ (от нефтей к конденсатам)
	в нефтях	в конденсатах	
V, Ni, Na	$10^{-3}-10^{-2}$	$10^{-5}-10^{-4}$	уменьшение
Hg	$10^{-4}-10^{-3}$	$10^{-6}-10^{-5}$	уменьшение
Sc	$10^{-4}-10^{-3}$	$10^{-7}-10^{-6}$	уменьшение
Cr	$10^{-5}-10^{-4}$	$10^{-6}-10^{-5}$	уменьшение
Co, As	$10^{-5}-10^{-4}$	$10^{-7}-10^{-6}$	уменьшение
Eu	$10^{-7}-10^{-6}$	$10^{-6}-10^{-5}$	увеличение
Ge, Yb, W, Th, Sm	отсутствуют	$10^{-6}-10^{-5}$	увеличение

Таким образом, на основании обобщения имеющегося фактического материала по содержанию МЭ в нефтях различного фазового состояния, накапливающихся в неструктурных комбинированных ловушках, выявлены их существенные различия, позволяющие дифференцировать месторождения ванадиевых нефтей и вторичных газоконденсатных залежей, а также проводить мониторинг перемещения газоконденсатных смесей при разработке месторождений УВ флюидов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловушках комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов», АААА-А19-119022890063-9.

Библиографические ссылки

1. Пуанова С. А. Микроэлементы нефтяных флюидов в процессе онтогенеза углеводородов в связи с нефтегазоносностью : дисс. д-ра геол.-мин. наук. М., 2017.
2. Старобинец И. С., Курганская Э. В. Микроэлементы в газоконденсатах и их геохимическое значение (на примере газоконденсатных месторождений Средней Азии) // Докл. АН СССР. 1979. Т. 245, № 2. С. 454–457.
3. Курганская Э. В. Геохимические особенности распределения микроэлементов нефтей и конденсатов Туркменистана: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1981.
4. Чахмахчев В. А., Курганская Э. В., Пуанова С. А. Распределение микроэлементов в нефтяных фракциях // Геохимия. 1981. № 2. С. 312–316.

5. Пунанова С. А. Микроэлементы в нефтидах и их использование при разработке нефтяных и газоконденсатных месторождений // Нефтехимия. 2001. Т. 41, № 3. С. 185–193.

6. Punanova S. Trace elements' features of mature hydrocarbon systems // 28th Int. Meet. on Organic Geochemistry (IMOG). Florence, Italy, 2017.

7. Пунанова С. А. Прикладная металлогения нефтидов // Акт. проблемы нефти и газа. 2017. Вып. 2 (17) [Электрон. ресурс]. URL: http://oilgasjournal.ru/issue_17/punanova.html (дата обращения: 20.05.2020).

8. Бабаев Ф. Р., Пунанова С. А. Геохимические аспекты микроэлементного состава нефтей. М. : ООО «Изд. Дом Недр», 2014.

УДК 553.98.061

ГЕОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ «ВЫБОР» – ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ ВВОДА ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУР В ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНОЕ БУРЕНИЕ

В. Л. Шустер

ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук,
ул. Губкина 3, 119333 Москва, Российская Федерация; tshuster@mail.ru

Обоснован методический подход для решения задачи выбора очередности ввода локальных структур в поисково-разведочное бурение на нефть и газ в новых регионах. Используется системный анализ геолого-геохимических материалов с помощью разработанной программы «Выбор».

Ключевые слова: геолого-математическая модель; локальные структуры; нефть; газ.

При существующем мировом тренде снижения прироста запасов и добычи нефти и газа из «верхнего» (до 3–4 км) этажа и активизации поисково-разведочных работ в «нижнем» (свыше 4–5 км) этаже нефтегазоносности во многих регионах мира, в том числе, Российской Федерации и Беларуси, возникает необходимость выбора первоочередных объектов геолого-разведочных работ.

Для дифференцированной прогнозной оценки перспектив нефтегазоносности каждого локального объекта (разведочной площади) необходимо количественно или качественно охарактеризовать объект по целому ряду геологических, геофизических, геохимических параметров. А по некоторым регионам – ещё и экономическим, технологическим, экологическим и другим показателям. Зачастую влияние этих параметров (показателей) разнонаправленное.

Всё это делает целесообразным применение системного анализа многообразной и разнородной информации, позволяющего провести многокритериальную оценку выбора рациональной последовательности структур (объектов) для проведения поисково-разведочных работ на нефть и газ.

Для реализации такого подхода предлагаем использовать модель «Выбор», в основу которой положены программы «Слой» и «Доминанта», разработанные во ВНИИСИ [1, 2].

Такой анализ способствует научно обоснованному выбору рациональной очередности потенциальных объектов, в качестве первоочередных, для поискового бурения, а также решать возникающие задачи целенаправленно, с учётом специфических условий проекта (геологических, географических, экономических, технологических, экологических). В каждом регионе эти условия различные. Так, в арктических морях необходимо учитывать глубины моря, ледовую обстановку, технологические возможности и высокую затратность работ. Не-

обходимость учёта тех или иных целей и особенностей проекта должна быть отражена в совокупности показателей оценки перспективности объекта.

Для решения задачи «Выбор» необходимо:

– установить набор основных показателей и факторов, определяющих основные закономерности формирования и размещения нефтегазовых скоплений в исследуемом регионе; при этом возникает необходимость отобрать наиболее важные показатели и обеспечить возможность оценки всех показателей на каждом исследуемом объекте;

– определить различные измерители каждого показателя; в последующих после [1, 2], работах мы внесли принципиальное изменение в оценку параметров, переводя её из количественной в разных единицах в вероятностную обобщенную [3];

– выделить в наборе показателей основные или доминирующие, по которым совокупность объектов с помощью программы «Слой» разделяется на слои – группы структур с примерно равной вероятностной оценкой перспектив нефтегазосности, и дополнительные показатели, по которым с помощью программы «Доминанта», производится выбор очередности внутри слоя.

Обычно проводится ряд модельных расчётов, с последовательно изменяемыми наборами показателей.

Далее, по интегрированной результирующей оценке всех проведённых модельных расчётов формируются «слои» объектов с близкими значениями вероятностей (от наиболее перспективных к наименее) и определяется очередность объектов внутри «слоя».

Содержательный анализ позволяет оценить сделанный выбор с точки зрения существующих геологических представлений, а также насколько оправданно использованы те или иные параметры, исходя из частоты их встречаемости.

Нами подобные задачи решены в 1980-е гг. по Баренцевоморскому региону [2], эффективность результатов – 82 %; по Западной Туркмении, эффективность составила 91 % [4], по фундаменту Западной Сибири [3], эффективность не оценена, т. к. работы пока не проведены.

Таким образом, обоснован методический подход для решения задачи выбора очередности ввода локальных структур в поисково-разведочное бурение на нефть и газ в новых регионах. Для решения подобных задач используется системный анализ геолого-геохимических материалов с помощью разработанной нами программы «Выбор».

Финансирование. Государственное задание по тема «Фундаментальные проблемы геологии, геохимии и гидрогеологии нефтегазовых осадочных бассейнов. Обоснование значимых факторов эффективного прогноза крупных скоплений УВ в неструктурных условиях», АААА-А-16-116022510269-5.

Библиографические ссылки

1. Швембергер Ю. Н., Шустер В. Л. Многокритериальный анализ: определение очередности ввода структур в поисково-разведочное бурение // Изв. Вузов. Сер. Геология и разведка. 1987. № 3. С. 48–52 с.

2. Швембергер Ю. Н., Шустер В. Л., Меркулова О. Н. Многокритериальность и выбор альтернативы в поисково-разведочных работах на нефть и газ. М. : ВНИИОЭНГ, 1987.

3. Шустер В. Л., Пуанова С. А. Вероятностная оценка перспектив нефтегазосности доюрского комплекса Западной Сибири с помощью геолого-математической программы «Выбор» // Нефтяное хоз-во. 2014. № 1. С. 16–19.

4. Шустер В. Л. Некоторые результаты прогноза нефтегазосности верхнеюрского комплекса Туранской плиты с использованием программы распознавания образов «Кора-3» // Бюлл. МОИП. 1970. № 4, отдел геол. С. 4–5.

POSSIBILITIES OF THE ACOUSTOPOLARISCOPE METHOD IN THE PROBLEMS OF GEOPHYSICS

M. V. Kovalevskiy, F. F. Gorbatshevich, O. M. Trishina

Geological Institute of the Kola Science Centre of the RAS

14 Fersman street, 184209 Apatity, Russian Federation; koval@geoksc.apatity.ru

The paper presents the use of the acoustopolarization method for the study of elastic-anisotropic properties of the rocks. Investigations showed that using this method one can reveal elastic anisotropy, evaluate the heterogeneity of rock samples and determine orientation of the elastic symmetry elements. It is possible to determine the type of the rock elastic symmetry without defining 3D distribution for compression and shear waves. In the boreholes rock samples the effect linear acoustic anisotropic absorption (LAAA) is rather common. The results obtained can be used for better interpretation of the palaeodynamic studies of formation conditions of metamorphic rocks.

Key words: Boreholes; Elastic-anisotropic properties; Rocks; Sample; Structure; Acoustopolariscope.

Introduction. After William Nicol had introduced optical polarizers in 1828 microscopic studies of composition and structure of minerals and rocks went fast. Geologists are armed with quite a large set of quantitative methods to analyse the chemical and mineral composition of rocks. The situation in regards to the measurement of the peculiarities of structure and elastic anisotropy of rocks, however, is poorer, as methods and instruments suitable for this purpose are more limited. Interest in elastic anisotropy parameters aroused because natural media are very often anisotropic [2, 6, 10]. Investigations indicate that minerals and rocks have the properties characterized by various symmetry groups, including the lowest ones, and by a high degree of anisotropy. Large rock masses, especially metamorphic, can be strongly anisotropic [1, 3]. These peculiarities of big geological formations hinder their study by seismic methods [12].

The developed acoustopolariscope method [4] has some advantages and can be widely used because unlike light rays an ultrasound can penetrate all bodies regardless of their thickness and transparency. This method solves the problem of experimental determination of spatial orientation, the type and number of symmetry elements in anisotropic heterogeneous media. One can study samples of ore rocks of 1 to 10 cm thick selected directly at the mine bottom or geological outcrop. Changing the wavelength one can trace the structure of the medium at the level of mineral grains, their associations and rock as a whole.

Acoustopolariscope method. Observations by the acoustopolariscope method are made with the use of transducers transmitting purely transverse linear polarized waves into a sample. Such a transducer is constructed so that compression waves convert into shear ones at the flat boundary between two acoustically different media [11]. Two transducers, a source and receiver are built in a device acoustopolariscope. The principal scheme of this device is shown in [4]. The latest version of a power-driven acoustopolariscope is interfaced with an ultrasonic flaw detector and PC [7–9]. The registered envelope amplitudes of the signal that has passed through the sample are digitized and processed. It allows making measurements automatically. The computer shows the acoustopolarigrams on the screen PC and plots them with the printer.

Before measurements, the polarization planes of transducers are brought in line (VP position). The sample is placed between the transducers and fixed in the holders. The coupling medium is put on the working surfaces of the transducers. In the first stage of measurements, the sample is rotated through 360°, and signal amplitudes are fixed on the screen of a recording device. The second stage of measurements is conducted with the polarization source and receiver intersecting at 90° (VC position). Again, the measurements are conducted through a 360° rotation of the sample. As a result of

these measurements, we obtain acoustopolarigrams of anisotropic samples for parallel (VP) and intersecting (VC) directions of transducers polarization. Examples of theoretically calculated acoustopolarigrams are shown in Fig. 1 [4].

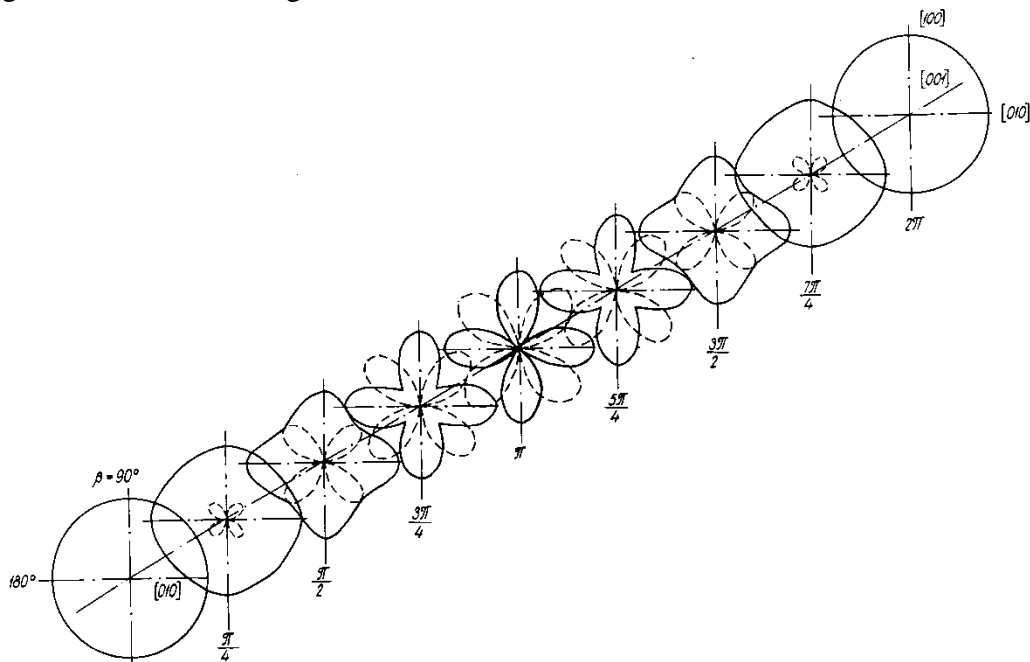


Figure 1 – Variation of maximum amplitudes (envelopes) recorded by the receiver with parallel (VP-solid line) and crossed (VC-dotted line) polarization vectors of the source and receiver of shear waves versus the sample rotation angle β and the phase difference δ [4]

As Fig. 1 shows, beyond the dependence on the rotation angle β of an isotropic sample (phase difference of the angle $\delta = 0$) at the VP position of linear-polarized transducers of shear waves, one and the same envelope amplitude equal to VP is recorded. The configurations of the VP and VC envelopes obtained as anisotropic samples rotate, depend on the value of the angle δ . The difference δ is formed by shear wave propagation along the axis and plane of the anisotropic sample symmetry. If the sample is anisotropic, its acoustopolarigram will be similar to those in Figure 1 with $\delta = \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$. The configuration of the VC envelopes (Fig. 1) when an anisotropic sample is rotated between the transducers in the VC position is a symmetric four-petal figure independently of the phase difference $0 > \delta < 2\pi$. The amplitude minimum (VC = 0) will show the direction of the axis or plane of the anisotropic medium symmetry.

Linear (nonlinear) effects and the phenomena of elastic waves. In heterogeneous media, such as rocks, elastic properties are defined by mineral characteristics, the degree of their ordering in the rock space and the presence of preferred orientation of mineral grains. Besides, in heterogeneous materials the velocity, amplitude and phase of shear acoustic waves depend on spatial location of elastic symmetry elements. It is known that in the course of investigation of rocks and massifs by seismic methods various linear (nonlinear) effects and phenomena arise during propagation of waves. These effects and phenomena can influence the final seismogram shape and cannot be fully defined by the existing methods. In this connection the aim of our investigations is definition of the phenomena and effects (PHE) arising during propagation of elastic shear waves in solid anisotropic media.

Pleochroism or the phenomenon of linear anisotropic absorption is observed as the light passes through transparent media [13]. It reflects an ability to absorb a beam of polarized light in various ways when rotating its polarization vector with respect to the medium structural elements. In this

case, as a rule, the largest absorption of the polarized light is observed when the polarization vector is directed perpendicularly to linearly stretched structural elements of the medium.

It is known that rocks, especially metamorphic ones, often have directed structures [1]. It is felt that in this case, by analogy with the optical phenomenon pleochroism, one can observe the phenomenon of linear acoustic anisotropic absorption (LAAA) during propagation of shear waves. Depending on the absorption degree the acoustopolarigrams will acquire the shape shown in Fig. 2 [4]. Fig. 2 shows the envelopes during the propagation of shear waves in anisotropic media with various degrees of LAAA and the phase difference δ . The degree of the observed LAAA is calculated according to the equation:

$$D = \frac{A_{ld} - A_{sd}}{A_{ld} + A_{sd}}, \quad (1)$$

where A_{ld} is the size of the largest diameter of the amplitude envelopes (VP position), A_{sd} is the diameter size of the envelopes in the perpendicular direction to the largest diameter. According to the above expression (1) the medium with a full effect of LAAA has its degree $D = 1$ (a full polarizer). Solids with strong LAAA act on them in the same way as a polarizer acts on light rays. With the absence of LAAA the degree $D = 0$.

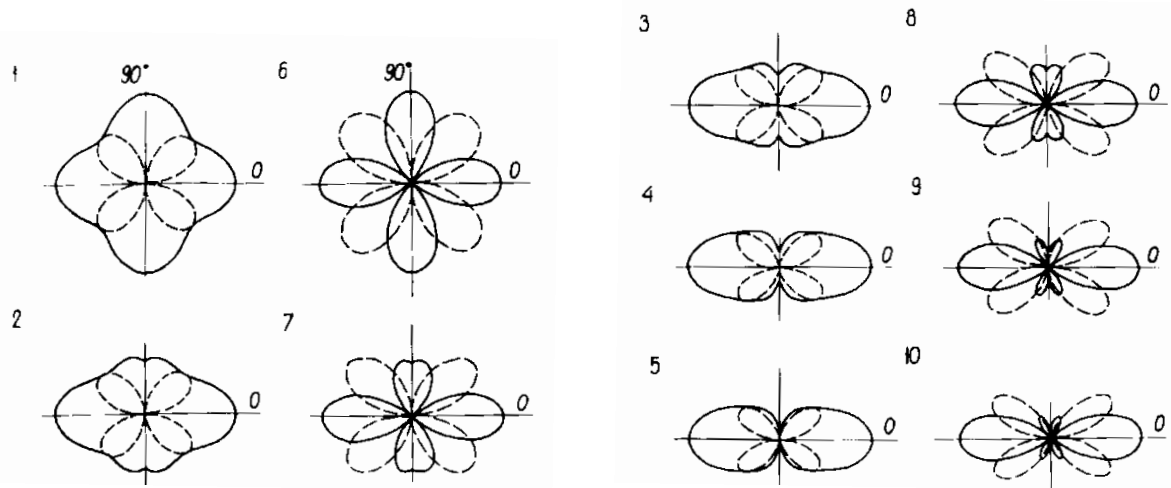


Figure 2 – Circle diagrams for variation of the amplitude of shear wave propagation in an anisotropic medium with different degrees of the LAAA effect

1, 6 – $D = 0$; 2, 7 – $D = 0.25$; 3, 8 – $D = 0.5$; 4, 9 – $D = 0.75$; 5, 10 – $D = 1.0$. For patterns 1–5 the phase difference is equal to $\delta = \pi/2$, for 6–10 $\delta = \pi$. Solid lines are for vectors parallel, dotted lines – for vectors crossed.

Thus the acoustopolarigrams measured in the VP position allow one to determine the availability of LAAA and other effects [4, 7, 8]. For instance, on the Fig. 3 all samples from the Finnish borehole OKU display the effect of LAAA. Sharp minimums of the amplitudes on the VC acoustopolarigrams allow one to determine the directions of elastic symmetry elements (axes and planes). Experimental measurements are made on the samples in the form of a cube or parallelepiped. It allows one to determine spatial orientation of the axes and planes of elastic symmetry. At the final stage according to the orientation of the symmetry axes and planes at each face of the cubic sample longitudinal and shear wave velocities are determined. The velocity values are recorded in accordance with the Q-matrix (quasi-matrix) V_{ij} [4]:

$$\begin{matrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{matrix} \quad (2)$$

where V_{11} is the longitudinal wave velocity in the direction along the normal to the first pair of the cubic sample sides; V_{22} and V_{33} – to the second and third pairs of the cube sides; V_{12} is the shear wave velocity in the direction along the normal to the first pair of the cube and the polarization vector directed normally to the second pair of the cube sides; V_{13} is also the shear wave velocity measured in the same direction but with the polarization vector directed normally to the third pair of the cube sides. The values of V_{21} and V_{23} are measured in the direction of the normal to the second pair of cube sides, with the vector of polarization directed to the first and third sides. The same principle is valid for the V_{31} and V_{32} values.

The phenomenon of elastic anisotropy (EA) is described in [4, 5]. In the diagrams, Fig. 3, obtained for the vectors crossed VP position one can see symmetric four-petal figures. It means that all the rocks samples studied are anisotropic to some extent.

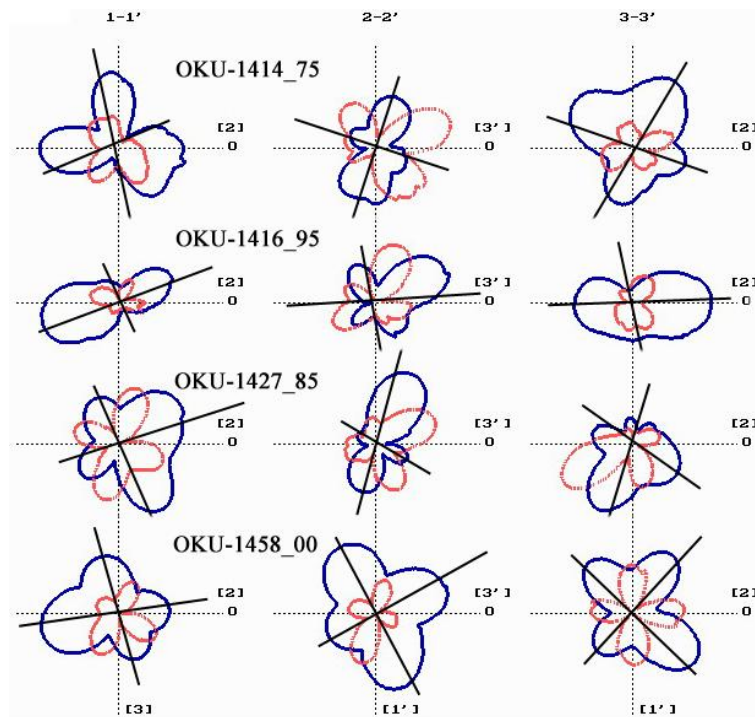


Figure 3 – Examples of acoustopolarigrams of the samples from the Finnish OKU drill hole with display of the acoustopolarization effects

OKU-1414_75, OKU-1416_95, OKU-1458_00 – serpentinite; OKU-1427_85 – serpentinite with tremolite. Blue lines – parallel vectors of polarization (VP); red lines – crossed vectors of polarization (VC); lines connecting minima of the VC amplitude – projections of symmetry elements

In some acoustopolarigrams, for example, the one for the sample OKU-1414_75, (Figure 3) the direction of the LAAA greatest transmission makes an angle with the projections of elastic symmetry elements – the phenomenon of the angular unconformity (AU). The unconformity is most often observed when the preferred orientation of microcracks does not coincide with the orientation of crystalloelastic axes of mineral grains.

The behaviour of the wave amplitude in the VC acoustopolarigrams (samp. OKU-1414_75, OKU-1416_95, side 2; OKU-1458_00, side 3; OKU-1427_85, all sides) allows one to conclude that the effect of shear waves depolarization (SWD) exists. The display of the effect is as follows: during propagation of polarized shear waves, for instance, in media with variously oriented mineral grains, depolarization of these waves occurs. The degree of the effect manifestation allows assessing the disorientation angle of elastic symmetry elements in grains (layers) of mono- and polymineral rocks.

Irregularities and breaks of the lines of VP and VC acoustopolarigrams of a large number of samples can be explained by heterogeneity of their composition and structure (Fig. 3). Irregular shapes of acoustopolarigrams of other samples can be caused by chaotic microjointing and cleavage of minerals.

Conclusion. The above-mentioned device complex gives an opportunity to evaluate properties of core samples with composite structure. The acoustopolariscopy method allows one to determine spatial orientation of the symmetry element projections, to distinguish the quasi-transverse-isotropic elastic symmetry type from the orthorhombic type. Acoustopolariscopy is a necessary intermediate stage in the investigation of an anisotropic medium. This method allows one to determine the spatial position of the symmetry elements of a rock with an accuracy of 1-2 degrees. Longitudinal and shear wave velocities measured in the directions of symmetry elements (axes and planes) allows one to determine a full set of characteristics of a solid sample.

This method can also define linear (nonlinear) effects and the phenomena of elastic waves. On the whole six factors in various combinations and degrees affect elastic-anisotropic properties of the samples from the Finnish OKU drill hole: elastic anisotropy, the LAAA effect, the effect of angular unconformity between elastic anisotropy elements and LAAA, SWD effect, microjointing and heterogeneities. These effects and the phenomena arise when carrying out investigations of massifs by seismic methods and can influence the seismogram final shape rocks. A research on linear and non-linear effects in solid bodies, probably will allow useful methods of investigation of various microscopic structural defects of crystalline solid bodies to be devised.

References

1. Allison I. S., Palmer D. F. *Geology. The Science of a Changing Earth.* McGraw-Hill Book Co, 1980.
2. Berry L. G., Mason B., Dietrich R. V. *Mineralogy.* San Francisco : Freeman and Co., 1983.
3. Christensen N. I., Mooney W. D. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: a global view // *J. Geophys. Res.* Vol. 100 (B7). 1995. P. 9761–9788.
4. Gorbatshevich F. F. *Acoustopolariscopy of minerals and rocks.* Saarbrücken : VDM Verlag, 2009.
5. Gorbatshevich F. F., Kovalevskiy M. V., Trishina O. M. Characteristics of elastic properties of the crystalline rock samples from the Outokumpu deep drillhole: results of acoustopolariscopic laboratory measurements. Outokumpu Deep Drilling Project 2003–2010 / Ed. by I. T. Kukkonen. *Geol. Survey of Finland. Spec. Paper.* 51. 2011. P. 207–218.
6. Kern H., Liu B., Popp T. Relationship between anisotropy of P- and S-wave velocities and anisotropy of attenuation in serpentinite and amphibolites // *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 102. P. 3051–3065.
7. Kovalevskiy M. Acoustical effects in the rock samples from the Outokumpu investigation drill hole // Kukkonen, Ilmo T. (Ed.). *Outokumpu Deep Drilling Project, 3rd Int. Workshop, Espoo, Finland, Nov. 12–13, 2009. Progr. and Abstr. Geol. Survey of Finland, Southern Finland Office, Marine Geology and Geophysics, Rep. Q10.2/2009/61.* 2009. P. 37–40.
8. Kovalevskiy M. V. The automated software and hardware complex Acoustpol: Tutorial. Apatity : «K & M» Publ., 2009 (in Russian).
9. Kovalevskiy M. V., Golovataya O. S., Gorbatshevich F. F. Automatic acoustopolariscopy for measuring elastic and nonelastic parameters of solid mediums // *The Coll. of Works of XI Sess. of the Russian Acoustic Soc. Moscow : Geos, 2001. Vol. 2. P. 117–121 (in Russian).*
10. Nye Y. F. *Physical properties of crystals.* Oxford at the clarendon press, 1964.
11. Patent 785737 : 1980, USSR, MKI G01N 29/04. Transducer of shear ultrasonic waves. *Byull. Izobret.* 45 (in Russian).
12. Sato H., Fehler M. C. *Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogeneous Earth.* New York : Springer-Verlag, 1998.
13. Shurkliff W. A. *Polarized light.* Harvard University Press, 1962.

PRESENT PETROPHYSICAL RESEARCH OF DEEP AND SUPER-DEEP BOREHOLES

M. V. Kovalevskiy, F. F. Gorbatshevich, O. M. Trishina

Geological Institute of the Kola Science Centre of the RAS

14 Fersman street, 184209 Apatity, Russian Federation; koval@geoksc.apatity.ru

The paper presents the use of the acoustopolarization method for the study of elastic-anisotropic properties of the rock samples from the Kola (SG-3), German (KTB-HB) and Outokumpu (OKU) boreholes. Investigations showed that using this method one can reveal elastic anisotropy, evaluate the heterogeneity of rock samples and determine orientation of the elastic symmetry elements. It is possible to determine the type of the rock elastic symmetry without defining 3D distribution for compression and shear waves. In the rock samples from SG-3, KTB-HB and OKU the linear acoustic anisotropic absorption (LAAA) is rather common. The results obtained can be used for better interpretation of the palaeodynamic studies of formation conditions of metamorphic rocks.

Key words: Boreholes; Elastic-anisotropic properties; Rocks; Sample; Structure; Acoustopolariscopy.

Introduction. The drilling of deep and superdeep drill holes requires great expenditures and they cannot therefore be widely applied for research purposes.

The acoustopolarization method is aimed at the study of clastic and nonclastic properties of mainly anisotropic solid media [3, 5, 7, 9]. It allows the determination the presence of elastic anisotropy, the number and spatial orientation of symmetry elements, as well as the symmetry type and elasticity constants. The method is well suited to media with transverse- isotropic, rhombic and other symmetry types. The basic pattern of observations applied in this method is similar to that applied in polarization observations in optics [14]. Acoustopolarization measurements are carried out with a specially designed device, called the acoustopolariscope [10]. Observations are made with transducers that are able to radiate and receive purely shear linear-polarized waves.

In the first stage, measurements are made with the polarization planes of transducers parallel to each other (VP position). A sample is placed between the transducers and fixed on the rotating platform. In a sequence of measurements, the rotating platform is rotated through 360°, and signal amplitudes are measured on the screen of a recording device. In the second stage, measurements are carried out with the polarization planes of the source and receiver orthogonal to each other (90°, VC position). Again, the measurements are conducted through a 360° rotation of the sample. As a result of these measurements, we obtain acoustopolarigrams of anisotropic samples for parallel (VP) and orthogonal (VC) directions of transducer polarization.

It is known that in the course of investigation of rocks and massifs by seismic methods various linear (nonlinear) effects and phenomena arise during propagation of waves [5, 8]. These effects and phenomena can influence the final seismogram shape and cannot be fully defined by the existing methods. In this connection the aim of our investigations is definition of the phenomena and effects (PHE) arising during propagation of elastic shear waves in solid anisotropic media.

Kola Superdeep (SG-3). The Kola Superdeep Borehole reached a depth of 12 261 m. It was drilled in the northern NW-trending (300–310°) and SW-dipping (30–50°) limb of the Pechenga rift structure, composed of rhythmically alternating metavolcanic and metasedimentary sequences [10]. The borehole intersected the lower Proterozoic complex of the Pechenga Formation and the Archaean granite and metamorphic complex (the middle continental crust). The drilled part of the Archaean complex (6 842–12 261 m) is composed of biotite-plagioclase and biotite-amphibole-plagioclase gneisses with high-calcium minerals, gneisses with high-alumina minerals, amphibolite and metaultrabasic rocks, pegmatite and granite [4]. In the vertical section of the Archaean complex

10 geological units have been distinguished. They are characterized by various compositions and combinations of constituent rocks, type of regional and dislocation metamorphism, granitization, elements of folding and fracturing.

In the course of investigations we received over 180 acoustopolarigrams for the samples excavated from all geological units cut by SG-3 [5]. The acoustopolarigrams of gneiss, schist and amphibolite cubic samples from the Kola superdeep section (5 893–9 672 m depth range) with a high level of elastic anisotropy are presented in Figure 1. One can draw straight lines connecting the minimal amplitude of the signal passing through the sample almost everywhere on the VC acoustopolarigrams and thus determine the spatial location of the projections of elastic symmetry elements. The VP acoustopolarigrams of some samples have a distinctly flattened shape. This suggests a manifestation of the LAAA effect, see Figure 1. This effect is usually manifested in the presence of preferred orientation of elongated mineral grains and microcracks [5].

Elastic anisotropy of biotite-plagioclase gneisses, judging by their acoustopolarigrams, is well-defined. The presence of the symmetry elements on the acoustopolarigrams of samples 24996s, 28184s point to near orthorhombic symmetry type, while those of samples 30020, 24947 – to transversal-isotropic. In every sample the LAAA effect is displayed. This effect is pronounced in talc-phlogopite-tremolite schist, sample 26715s. The acoustopolarigrams representing high LAAA are typical of many schist samples, Fig. 1. The acoustopolarigrams of amphibolite, as a rule, point to the influence of four factors occurring in different combinations and rate: elastic anisotropy, the LAAA effect, microcracks and heterogeneity. The first factor and to a large extent the second one influenced the acoustopolarigrams of samples 24788s and 27026. As a rule, projections of symmetry elements stand out sharply on all the three sides of the samples. The Q-matrices of the velocities of these samples were published in [5].

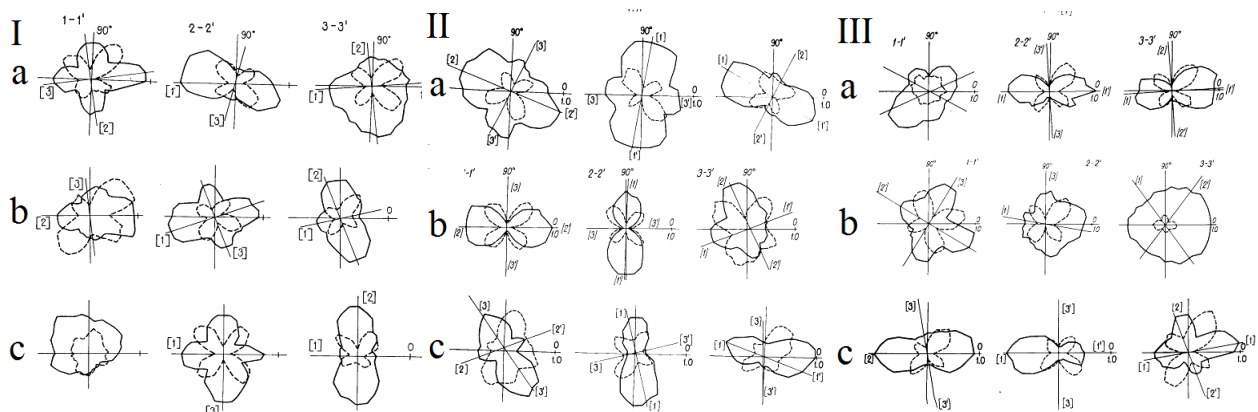


Figure 1 – Acoustopolarigrams of the samples from SG-3, 5 893-9 672 m depth range [5]

Ia – plagioclase granite with amphibole (sample 24996s); Ib – epidote-biotite-plagioclase gneiss (sample 28184s); Ic – biotite-plagioclase gneiss (sample 30020); IIa – amphibole-plagioclase schist with biotite (sample 19402s); IIb – talc-phlogopite-tremolite schist (sample 26715s); IIc – epidote-biotite-amphibole-plagioclase crystalloschist (sample 27227s); IIIa – clinopyroxene amphibolite (sample 24788s); IIIb – amphibolite with sphene (sample 24947); IIIc – cummingtonite amphibolite (sample 27026). Vectors parallel – solid lines; vectors crossed – dotted lines.

German superdeep (KTB-HB). The German superdeep borehole (KTB-HB) was drilled in the crystalline basement of the Bohemian massif in the south of Germany [1]. It is located in the tectonometamorphic massif of Zone Erbsdorf-Vohenstrauß (ZEV). The main rocks composing the massif in the profile zone are paragneiss, metabasite and their interbedding, granite and metasedimentary rocks. The rocks underwent two metamorphic cycles that resulted in strongly anisotropic schistose rocks.

The samples of amphibole-biotite gneiss, biotite amphibolite, apoclogitic garnet amphibolite, apogabbroic amphibolite etc., were excavated from the KTB-HB depth range of 4 149–7 011 m [2].

Their acoustopolarigrams are represented in Fig. 2. On the VP and VC acoustopolarigrams of most samples one can see four-petal figures, which signify the presence of elastic anisotropy in rock samples. The maximum LAAA manifestation is observed in the sample of garnet amphibolite (sample h030, axis 1-1', $D_1 = 0.45$; axis 3-3', $D_3 = 0.86$). It is also noticeable in the samples of amphibole-biotite gneiss (sample h001, axis 2-2', $D_2 = 0.13$, axis 3-3', $D_3 = 0.14$), garnet amphibolite (sample h009, axis 3-3', $D_3 = 0.2$; h010, axis 3-3', $D_3 = 0.39$). In the above samples, the LAAA manifestation is also associated with the presence of oriented in one direction minerals such as amphibole, biotite, chlorite and others [8].

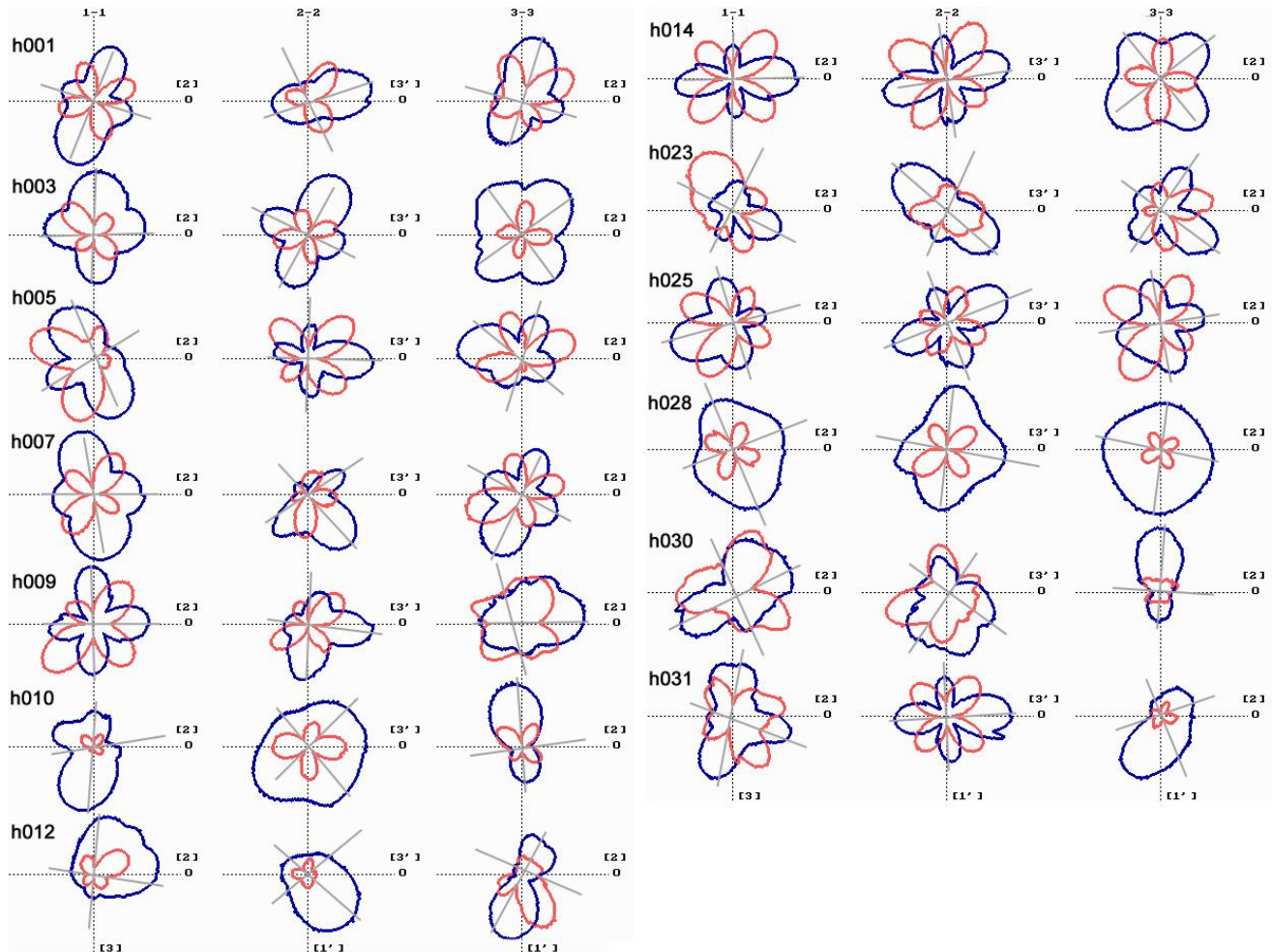


Figure 2 – Acoustopolarigrams of rock samples from the section of the German KTB-HB superdeep drillhole [8]
 Vectors parallel – solid lines; vectors crossed – pale lines.

Acoustopolarigrams of some samples (samples h009, axis 3-3'; h023, axis 1-1'; h030, axes 1-1', 2-2'; h031, axis 1-1') are distinguished by abnormally large VC diagrams of a rounded shape. As indicated earlier [5, 7, 8, 9], such forms of acoustopolarigrams are observed when the crystalloacoustic axes of mineral grains are distributed over a wide range of angles in the plane perpendicular to the wave direction. In this case the effect of shear wave depolarization (SWD) is manifested. Earlier a similar effect of depolarization of linearly polarized light waves as they propagate through accidentally heterogeneous media or media composed of anisotropic materials (layers) with differently oriented symmetry elements, was registered in optics [13].

Heterogeneity and differently oriented microcracks also affect the shape of acoustopolarigrams. The asymmetric angular shape of the VP acoustopolarigrams (samples h009, h030 and h031) indicates a significant effect of these factors on their elastic anisotropic properties. The smallest effect of heterogeneities is observed in the samples of biotite (h003), garnet (h014) and mineralized chloritized garnet amphibolite (h028) with a fairly strict one-way orientation of crystalline-acoustic axes in mineral grains. The outlines of the acoustopolarigrams for the last mentioned samples are close to those calculated theoretically (Fig. 2).

On the whole a comparison of acoustopolarigram shapes for different rock types (Fig. 2) shows that their shape does not allow distinguishing amphibolite from garnet amphibolite or from amphibole-biotite gneiss. Thus, the elastic anisotropic appearance of these rocks is not determined by their mineral composition but by specific palaeogeodynamic conditions of generation during metamorphic and other processes.

The Q-matrices of the velocities of these KTB samples were published in [8].

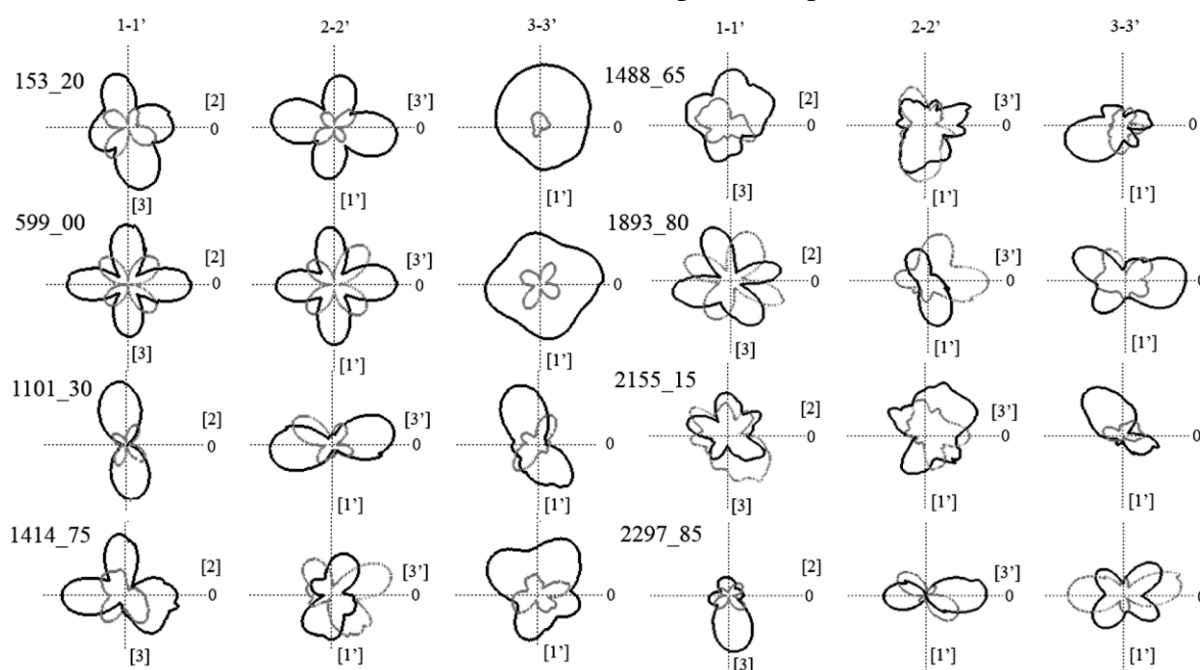


Figure 3 – Acoustopolarigrams of the rock samples extracted from the Outokumpu drill hole
Vectors parallel – solid lines; vectors crossed – pale lines.

Outokumpu deep drill hole. The Outokumpu investigation deep drill hole (OKU) reached a final depth of 2 516 m. The hole is located in SE Finland near the worked-out Outokumpu deposit. The plan of the geological structure [6] shows that the wellhead is located in the field of Proterozoic mica gneisses (schists). Archaean massifs are situated north-eastwards. The upper drill hole down to some 1 310 m has passed through mica schist with rare interlayers of biotite gneiss [12]. The 1 310–1 515 m interval is composed of alternating beds of black schist, biotite gneiss, serpentinite and diopside-tremolite skarn. Below 1 515 m mica schist with rare beds of black schist and quartz veins occur. From a depth of 1 655 m mica schist alternates mainly with the bodies of pegmatite granite and biotite gneiss. Pegmatoid granite, garnet-biotite gneiss and biotite-sillimanite schist compose the lower part of the drilled section down to the limiting depth.

In the course of investigations types of rocks, their texture, structure, composition and petrophysical properties of 43 core samples taken from different parts of the Outokumpu drill hole section were studied [7]. Then their elastic and non-elastic properties were investigated by means of acoustopolariscopy. Below are the acoustopolariscopy results for the modal rock types.

Conclusion. The results obtained for the rocks from the Kola and German KTB-HB superdeep and Finnish deep boreholes (biotite gneiss, schist, hornblende amphibolite etc.) point clearly that metamorphic rocks are elastic-anisotropic. Their structure can be near transverse-isotropic or orthorhombic elastic symmetry. The linear acoustic absorption anisotropy effect (laaa) is rather common for the samples excavated from SG-3. The degree of the laaa effect manifested in the samples from the KTB-HB and OKU is very variable. These peculiarities of the rock masses displaying the laaa effect should be taken into consideration when interpreting the results of seismic investigations. As a rule, the acoustopolarigrams point to the influence of four factors occurring in different combinations and rate: elastic anisotropy, the laaa effect, microcracks and heterogeneity.

A comparison of acoustopolarigram shapes for different rock types from SG-3, KTB-HB and OKU shows that their shape does not allow distinguishing gneisses from amphibolites, schists from metamorphosed granite etc. Thus, the elastic anisotropic appearance of these rocks is not determined by their mineral composition but by specific palaeogeodynamic conditions of generation during metamorphic and other processes. Thus, the acoustopolariscopy method may be useful for investigating palaeodynamic conditions of genesis of such rock masses.

References

1. *Emmermann R., Lauterjung J.* The German Continental Deep Drilling Program KTB: Overview and major results // *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 102 (B8). P. 18179–18201.
2. *Emmermann R., Althaus E., Giese P., Stockhert B.* KTB Hauptbohrung. Results of Geoscientific Investigation in the KTB Field Laboratory. Final Report: 0–9101m. KTB Report 95-2. Hannover, 1995.
3. *Gorbatsevich F. F.* Acoustic polarization method for determining elastic symmetry and constants of anisotropy in solid media // *Ultrasonics*. 1999. Vol. 37. P. 309–319.
4. *Gorbatsevich F. F.* Some properties and structure of the crystalline crust from superdeep drilling data (SG-3, SG-4, KTB) // *Acta Geodyn. Geomater.* 2008. Vol. 5, N 4 (152). P. 351–360.
5. *Gorbatsevich F. F.* Acoustopolariscopy of minerals and rocks. Saarbrücken : VDM Verlag, 2009.
6. *Huhma A.* Suomen geologinen kartta 1 : 100 000. Precambrian rocks of the Outokumpu, Polvijärvi and Sivakkavaara map-sheet areas // *Geol. Tutkimuslaitos*. Espoo, 1975.
7. *Kovalevskiy M.* Acoustical effects in the rock samples from the Outokumpu investigation drill hole // *Kukkonen, Ilmo T. (Ed.). Outokumpu Deep Drilling Project, 3rd Int. Workshop*, Espoo, Finland, Nov. 12–13, 2009. *Progr. and Abstr. Geol. Survey of Finland, Southern Finland Office, Marine Geology and Geophysics*, Rep. Q10.2/2009/61. 2009. P. 37–40.
8. *Kovalevskiy M. V., Gorbatsevich F. F., Harms U., Dahlheim H. A.* Acoustopolarization measurements of elastic anisotropic properties of metamorphosed rocks in the section of the German superdeep drill-hole KTB // *Geofizicheskiy Zhurnal*. 2012. Vol. 34, N 2, P. 36–48 (in Russian).
9. *Kovalevskiy M. V.* The automated software and hardware complex Acoustpol: Tutorial. Apatity : «K & M» Publ., 2009 (in Russian).
10. *Kovalevskiy M. V., Golovataya O. S., Gorbatsevich F. F.* Automatic acoustopolariscopy for measuring elastic and nonelastic parameters of solid mediums // *The Coll. of Works of XI Sess. of the Russian Acoustic Soc.* Moscow : Geos, 2001. Vol. 2. P. 117–121 (in Russian).
11. *Kozlovskiy Ye. A.* The superdeep well of Kola Peninsula. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo : Springer, 1987.
12. *Kukkonen I. T. and the Outokumpu deep drilling working group.* Outokumpu deep drilling project – Introduction to Geology and Geophysics of the Deep Hole and Research within the Project: 3rd Int. Workshop Espoo, Finland, Nov. 12–13, 2009. Espoo. *Geol. Survey of Finland*. Rep. Q10.2/2009/61. 2009
13. *Shurkliff W. A.* Polarized light. Harvard University Press, 1962.
14. *Volkova E. A.* Polarization measurements. Moscow : Publ. Standartov, 1974 (in Russian).

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГРЯДОВО-КОЛЬЦЕВОГО РЕЛЬЕФА МОРЕНЫ В КОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

А. А. Вашков, О. Ю. Носова

Геологический институт КНЦ РАН,

ул. Ферсмана 14, 184209 Апатиты, Российская Федерация; vashkov@geoksc.apatity.ru

Среди аккумулятивных ледниковых форм рельефа Кольского региона распространен грядово-кольцевой рельеф. Установлено, что строение гряд обусловлено гляциодислокациями складчатого и надвигового типов. Определены особенности локализации этого рельефа в виде относительно узких и протяжённых полос. Внутри полос выделено несколько типов гряд: фронтальных, радиальных, сложной плановой ориентировки. Дистальный край отдельных полос этого рельефа надстроен грядами, в строении которых обнаружены флювиогляциальные осадки. Сделан вывод о формировании полос грядово-кольцевого рельефа в краевой зоне последнего оледенения.

Ключевые слова: моренная гряда; морена; гляциодислокация; оз; флювиогляциальные отложения; краевые образования.

Введение. Среди ледниковых аккумуляций Кольского полуострова установлены обширные области распространения специфического грядового и грядово-холмистого рельефа. Впервые подобные формы ледникового рельефа были описаны в 1960-х гг., их происхождение связывалось с аккумуляцией абляционной морены в области развития мёртвого льда [2]. В последующих исследованиях было установлено местоположение большинства участков этого рельефа, но его генезис по-прежнему преимущественно связывался с морфогенезом в областях мёртвого льда [3, 6]. С начала 1990-х гг. в работах геологов геологического института КНЦ РАН приводятся первые данные о строении моренных гряд, входящих в полосы грядово-кольцевого рельефа [3, 5, 14]. Были выявлены надвиговые гляциодислокации, которые, по мнению авторов, формировались на контакте активного ледника и поля мёртвого льда [3, 5]. Отдельные участки грядового рельефа начинают сопоставляться с полосами краевых образований региона [5, 9, 13–15]. В модели поясов краевых образований В. Я. Евзерова моренный грядово-кольцевой рельеф сопоставляется с внешним поясом, который построен за счёт напорных морен [5]. Продолжение работ по изучению краевых образований в Кольском регионе показывает наличие в строении гряд гляциодислокаций как надвигового, так и складчатого типов. Выявлено закономерное размещение моренных гряд.

Методика исследования. На полевом этапе исследовались структурно-текстурные особенности ледниковых и водно-ледниковых осадков в карьерах, расчистках на склонах гряд, шурфах. Производился отбор проб на определение петрографического состава валунной и гравийно-галечной фракции морен. В полевых условиях с помощью набора стандартных сит диаметром 1–10 мм проводился гранулометрический анализ. Цвет отложений определялся при помощи колориметрической системы *Munsell Soil Color Charts*. Детальное исследование текстуры ледниковых отложений производилось с помощью массовых замеров плоскостных (плоскости сланцеватости, границы слоистости) и линейных (длинные оси галек и валунов) элементов [1]. На камеральном этапе при помощи программы OpenStereo 0.1.2 проводилась обработка замеров, и строились структурные диаграммы на нижней полусфере равноплощадной сетки Шмидта. Исследование ледниковых форм рельефа заключалось в определении их морфологических характеристик: длины, высоты, крутизны склонов, ширины и ориентировки гребней гряд. Производилась оценка соответствия установленных характеристик рельефа и его изображению на цифровой модели рельефа ArcticDEM разрешением 2 м. Это позволило установить участки со схожим морфологическим обликом рельефа во всем регионе. При помощи

цифровой модели рельефа на отдельные участки распространения ледникового рельефа строились морфометрические схемы [7].

Результаты. Грядово-кольцевой рельеф встречается преимущественно в виде полос шириной 0,5–5 км, протяжённостью 10–20 км. На севере Кольского полуострова длина отдельных полос может достигать 50–70 км при ширине до 10–15 км. В пределах Мунозерской возвышенности на юго-западе Кольского полуострова грядово-кольцевой рельеф прослеживается на изометричных площадях размерами до 45 × 30 км (рис. 1). Рассматриваемые формы рельефа располагаются преимущественно на абсолютных отметках 120–300 м над уровнем моря. На севере Кольского полуострова отдельные полосы грядово-кольцевого рельефа могут находиться на отметках 40–100 м, а на склонах массивов Главного хребта и Ёлка-Тундр фиксируются на отметках 300–400 м. Полосы грядово-кольцевого рельефа на севере региона зачастую имеют фестончатый облик, обусловленный неровностями доледникового субстрата.

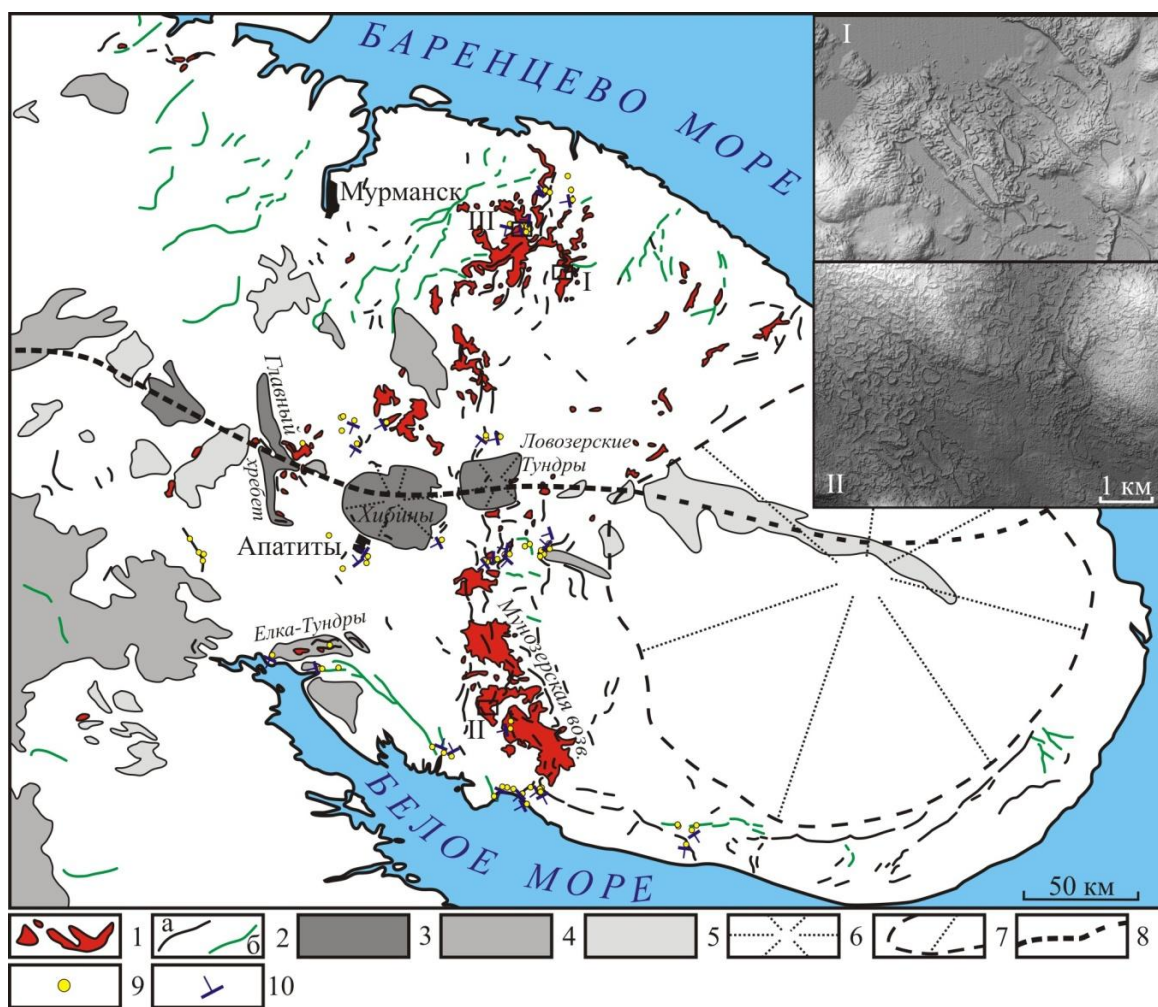


Рисунок 1 – Схема распространения аккумулятивного грядово-кольцевого рельефа в Кольском регионе
 1 – грядово-кольцевой рельеф; 2 – гряды моренные и неустановленного генезиса (а), озы (б); массивы со средними отметками: 3 – 600–800 м; 4 – 450–600 м; 5 – 300–450 м; 6 – участки горных оледенений; 7 – область Понойского ледникового щита; 8 – ледораздел беломорского и баренцевоморского ледниковых потоков; 9 – пункты исследования ледниковых отложений; 10 – направления движения ледника. На врезках I и II использована цифровая модель рельефа ArcticDEM разрешением 2 м [12].

В результате работ определено, что наиболее высокие и протяжённые гряды выстраиваются в линейно вытянутые цепочки. В пределах полос грядово-кольцевого рельефа установлено от 1 до 6 параллельных цепочек. Эти фронтальные гряды обладают максимальной длиной и

высотой, а также наиболее крутыми склонами. В промежутках между фронтальными грядами расположены озёрные и болотные котловины, которые разделяются грядами *сложной плановой ориентировки*: кольцевой, серповидной или S-образной. Они отличаются от фронтальных форм меньшей длиной и высотой. К отдельному типу отнесены спрямлённые или слабоизвилистые *радиальные* гряды, расположенные перпендикулярно протиранию фронтальных гряд. Эти гряды имеют длину от 0,1 до 1,5 км. Иногда они выстраиваются в цепочки из нескольких форм, которые прослеживаются вдоль современных речных долин. На удалении 0,5–2 км от дистального края полос грядово-кольцевого рельефа прослеживается полоса невысоких и широких гряд с уплощенной поверхностью, которые ориентированы в целом параллельно фронтальным грядам (рис. 2–3).

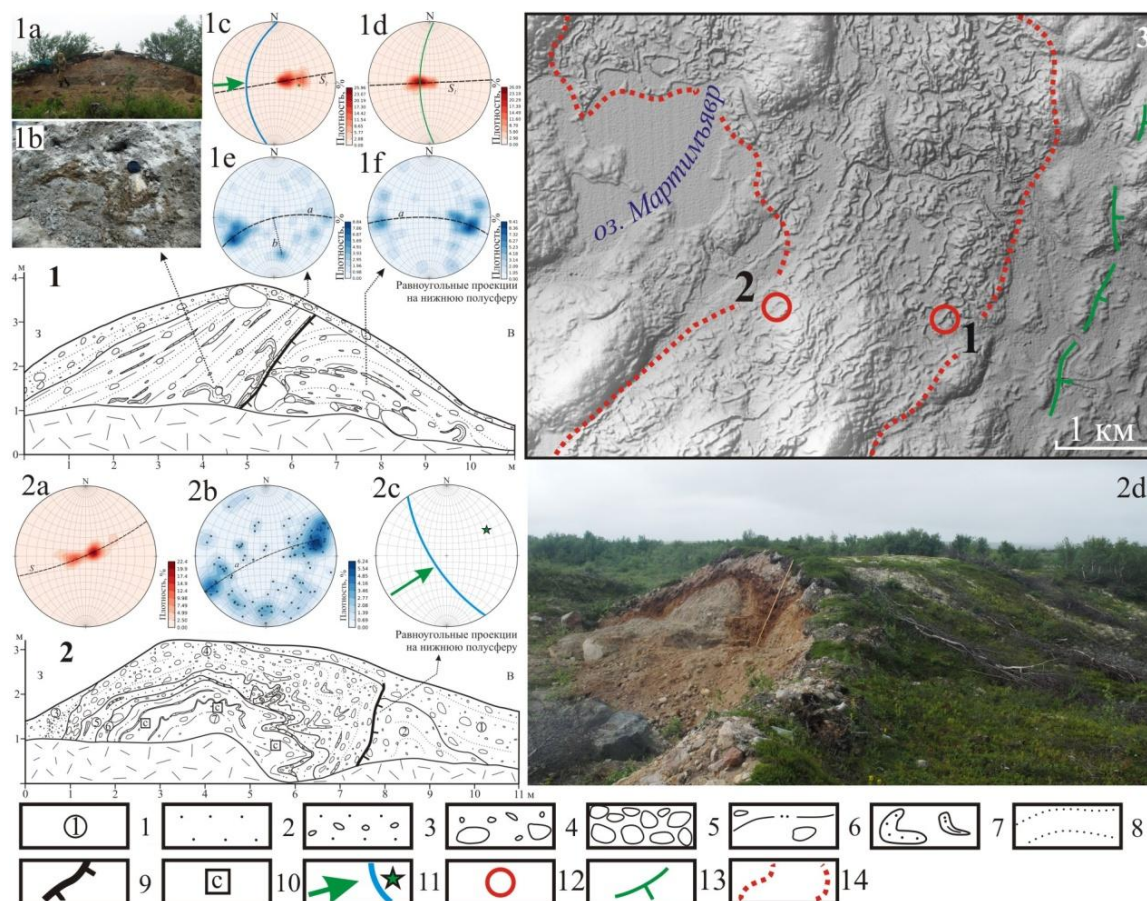


Рисунок 2 – Строение грядово-кольцевого рельефа в районе оз. Мартимьявр (III на рис. 1)
 1 – строение гряды фронтальной ориентировки; 2 – строение гряды сложной плановой ориентировки (на фото 2d);
 3 – рельеф участка на цифровой модели рельефа ArcticDEM 2 м [12]. Условные обозначения: 1 – номера слоёв; 2 – песок разномерный; 3 – песчано-гравийная смесь; 4 – гравийно-галечная смесь; 5 – галечно-валунная смесь; 6 – песок оливково-серый и галькой и валунами; 7 – песок в линзах; 8 – слоистость; 9 – плоскость надвига; 10 – места структурных исследований; 11 – направление давления ледника, проекция и падение полюса плоскости надвига. Структурные диаграммы: 1c – падение полюсов сланцеватости надвига, 1d – падение полюсов сланцеватости складки, 1e – падение линейных элементов надвига, 1f – падение линейных элементов складки, 2a – падение полюсов сланцеватости и слоистости складки; 2b – падение линейных элементов складки; 2c – падение плоскости надвига.

В строении *фронтальных* гряд установлены пески зеленовато-серого или оливково-серого цвета, разномерные, грубые, глинистые, с значительным числом гравия, гальки и валунов. В песках часто отмечаются тонкие ленты и прослойки песка светло-серого, мелкозернистого, а также изометричные включения в виде блоков песков коричневатых-серых, разномерных.

стых. Осадки часто сланцеватые, скалываются на плитки толщиной от 0,3 до 3 см, отдельные плитки разделяются тонкими присыпками песков тонкозернистых. Эти осадки в Кольском регионе сопоставляются как с базальной мореной, так и с мореной краевых образований [4, 11]. Морена фронтальных гряд включена в состав гляциодислокаций преимущественно надвигового и реже складчатого типов. Надвиги морены представлены одной или несколькими чешуями мощностью 2–4 м. Чешуи отделяются друг от друга прослоями песков толщиной 2–8 см (рис. 2–1). Падение отдельных чешуй составляет 18–34° и соответствует направлению движения активного ледника [1, 8, 10]. Торцевые части наложенных друг на друга чешуй могут формировать ступенчатый дистальный склон фронтальных гряд. Иногда в строении отмечается сочетание небольших антиклинальных складок морены с причленением к проксимальному крылу складки одной или нескольких чешуй [3, 5].

В строении гряд сложной плановой ориентировки установлены моренные пески, в целом аналогичные по составу отложениям во фронтальных грядах, а также флювиогляциальные пески разномасштабные и песчано-гравийно-галечные смеси. В строении одной из серповидных в плане гряд на севере Кольского полуострова моренные пески залегают в ядре формы в виде запрокинутой складки (рис. 2–2). Ядро из морены обрамлено песками и песчано-гравийными смесями, которые на лежащем крыле складки залегают согласно, а в замковой части складки и на висячем крыле сильно деформированы складками меньшего ранга.

Радиально ориентированные гряды построены флювиогляциальными отложениями. Они представлены песчано-гравийными, гравийно-галечными смесями и валунниками с материалом средней и хорошей степени окатанности. Этот материал залегают в виде линз мощностью до 1–1,5 м, внутри этих линз отмечается косая слоистость. Уклон этой слоистости обычно совпадает с ориентировкой длинной оси гряды. В грядах за дистальным краем полосы грядового рельефа на данный момент также выявлены только флювиогляциальные пески мелко-среднезернистые, хорошо промытые и реже – песчано-гравийные смеси. Эти осадки имеют отчетливую субпараллельную и косую слоистость. Падение косых серий песков обычно разнонаправленное. Для этих отложений характерно отсутствие гляцитектонической нарушенности отложений, а также отсутствие разрывных нарушений, характерных для деформаций осадков, отложенных на блоки мёртвого льда.

Обсуждение и выводы. Грядово-кольцевой рельеф Кольского региона сопоставляется нами с краевыми ледниковыми образованиями последнего оледенения. На это указывает, прежде всего, участие в строении отдельных гряд надвиговых и складчатых гляциодислокаций, характеризующих деятельность активного ледникового покрова [1, 8, 10]. Анализ элементов залегания гляциодислокаций указывает на перемещение льда в основном с запада на восток. Продвижение наибольшей массы ледников осуществлялось по котловинам современных Баренцева и Белого морей двумя крупными ледниковыми потоками: баренцевоморским и беломорским [6, 11, 13–15].

Небольшая мощность ледниковых аккумуляций связана нами с их формированием в узкой краевой зоне относительно маломощного ледникового покрова. Насыщенный дебрисом лед выжимался в ослабленные зоны ледникового покрова. Эти зоны протягивались в основном параллельно краю ледника, формировались будущие фронтальные гряды. Возникновение нескольких цепочек фронтальных гряд может быть связано с подвижками активного ледника и постепенным отмиранием узких полос перенасыщенного дебрисом льда вдоль края ледника. Между зонами заложения фронтальных гряд структура ледникового покрова не была однородной. В зоны трещин и полостей происходило выжимание подледного моренного и флювиогляциального материала. В результате этого процесса формировались гляциоскладки и надвиги гряд сложной плановой ориентировки. Отдельные небольшие формы могли образовываться позже, на периферии крупных блоков мёртвого льда. Таким образом, к формам, связанным с морфогенезом мёртвого льда можно отнести только часть гряд. В случаях пересечения краевой зоны потоками талых ледниковых вод могли формироваться радиальные гряды, которые по

существом являются радиальными озовыми грядами. Разгрузка потоков происходила непосредственно перед ледниковым краем. В таких случаях он хорошо маркирован полосой гряд с уплощенной поверхностью у дистального края краевой зоны. Такие формы можно отнести к супрагляциальным или маргинальным озам [8]. В случае выявления в этих грядах не сортированного крупнообломочного материала флю-тилло и абляционных морен, данные гряды можно идентифицировать как насыпные конечно-моренные гряды [5, 8].

Проведённые работы позволят разработать гляциодинамическую схему и установить местоположение разновозрастных краевых зон, связанных с фазами сокращения последнего ледникового покрова в регионе. Работы будут продолжены с целью установлением возраста краевых ледниковых образований и определения хода дегляциации Кольского региона.

Финансирование. Работа выполнена по теме НИР 0226–2019–0054 лаборатории № 43 Геологического института КНЦ РАН.

Авторы выражают глубокую благодарность **В. В. Кольке** и О. П. Корсаковой за обсуждение материала и ценные замечания, а также Д.С. Толстоброву, Н. А. Костроминой, А. И. Крикуновой, В. А. Крошинскому, А. В. Гончаренко, Н. В. Дёминой, Ю. С. Самсоновой и А. В. Пуцкову за неоценимую помощь в полевых работах.

Библиографические ссылки

1. *Аболтиньш О. П.* Гляциоструктура и ледниковый морфогенез. Рига : Зинатне, 1989.
2. *Арманд Н. Н.* Грядово-кольцевой рельеф морены // Рельеф и геол. строение осадочного покрова Кольского полуострова. М.-Л. : Наука, 1964. С. 48–54.
3. *Евзеров В. Я., Горбунов Е. О., Колька В. В.* Краевые ледниковые образования позднего дриаса в северной и центральной частях Кольского полуострова // Четвертич. отложения и новейшая тектоника ледниковых областей Восточной Европы. Апатиты, 1993. С. 26–38.
4. *Евзеров В. Я.* Литология морены поздневалдайского оледенения западной части Кольского полуострова // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 20, № 1–1. С. 48–59.
5. *Евзеров В. Я.* Строение и формирование внешней полосы одного из поясов краевых образований поздневалдайского ледникового покрова в Кольском регионе // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. 2015. № 4. С. 5–12.
6. История формирования рельефа и рыхлых отложений северо-восточной части Балтийского щита / Отв. ред.: С. А. Стрелков и М. К. Граве. Л. : Наука, 1976. 164 с.
7. *Кайрюкитис Л. А., Басаликас А. Б., Микалаускас А. П., Милюс И. В., Чеснулявичус А. А.* Оценка расчленённости рельефа Литвы для целей моделирования регионального развития // Тр. АН Лит. ССР. 1983. Сер. Б. Т. 5 (138). С. 85–93.
8. *Каплянская Ф. А., Тарноградский В. Д.* Гляциальная геология: Методическое пособие по изучению ледниковых образований при геологической съёмке крупного масштаба. СПб. : Недра, 1993.
9. *Колька В. В.* Мунозерская островная возвышенность // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 1998. Т. 1, № 3. С. 79–88.
10. *Лаверушин Ю. А.* Строение и формирование основных морен материковых оледенений. М. : Наука, 1976.
11. *Семенова Л. Р.* Ледниковая геология Кольского полуострова (поздний плейстоцен): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб. : ВСЕГЕИ, 2004. 23 с.
12. ArcticDEM is an NGA-NSF public-private initiative to automatically produce a high-resolution, high quality, digital surface model (DSM) of the Arctic using optical stereo imagery, high-performance computing, and open source photogrammetry software [Electronic resource]. URL: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/> (date of access: 19.01.2021).
13. *Demidov I., Houmark-Nielsen M., Kjær K., Larsen E.* The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: Ice flow patterns and decay dynamics // *Boreas*. 2006. N 4. P. 425–443.
14. *Kolka V., Korsakova O., Nikolaeva S., Yevzerov V.* The Late Pleistocene interglacial, late glacial landforms and Holocene neotectonics of the Kola Peninsula. ICG excursion, N 34, Aug. 14–23, 2008.
15. *Rainio H., Saarnisto M., Ekman I.* Younger Dryas end moraines in Finland and NW Russia // *Quaternary Int.* 1995. Vol. 28. P. 179–192.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ДОЛИНЕ р. ЛОТТА (СЕВЕРО-ЗАПАД КОЛЬСКОГО РЕГИОНА) В ГОЛОЦЕНЕ

Д. С. Толстобров, А. Н. Толстоброва, **В. В. Колька**, О. П. Корсакова

Геологический институт КНЦ РАН,

ул. Ферсмана 14, 184209 Апатиты, Российская Федерация; tolstobrov@geoksc.apatity.ru

На западе Кольского региона в долине р. Лотта проведено исследование донных отложений озёрных котловин, расположенных на разных высотных отметках. На основе новых данных литологии, диатомового анализа и радиоуглеродного датирования определены условия осадконакопления и особенности характера поднятия земной поверхности в поздне- и послеледниковое время. Освобождение территории от последнего ледникового покрова произошло в пребореальное время. В пределах долины сформировался крупный водоём, который представлял собой сильно опреснённый морской залив. Около 9 000 ¹⁴С лет назад (л. н.) относительный уровень водоёма в современном устье р. Лотта находился на высотной отметке примерно 115 м над современным уровнем моря. В результате поднятия земной поверхности происходила регрессия водоёма, около 7 000 ¹⁴С л. н. его уровень опустился ниже высотной отметки 83 м.

Ключевые слова: донные отложения озёр; голоцен; Кольский регион; река Лотта.

Введение. Со времени освобождения от последнего ледникового покрова (конец позднего плейстоцена) территория Кольского региона (северо-запад России) испытывает поднятие. В результате этого поднятия происходило регрессивное перемещение границы морского бассейна. Исследование древних береговых форм рельефа, которые маркируют изменение уровня моря во времени, позволяло исследователям делать выводы о характере неотектонических движений земной поверхности [2–4, 10 и др.]. На западе Кольского региона (в долине р. Лотта) изучением вопроса палеогеографии и неотектоники занимался А. А. Никонов [4]. На основании изучения распространения береговых форм рельефа в долине р. Лотта была установлена амплитуда поднятия около 120 м за голоцен и выделены зоны с проявлением дизъюнктивных дислокаций. Но для данного района нет никаких хронологических данных, отсутствие которых не позволяет определить темпы вертикальных движений, а также затрудняет проводить корреляцию одновозрастных береговых форм, расположенных на большом расстоянии друг от друга.

В последнее время на территории Кольского региона широко применяется метод «изолированных бассейнов», который позволяет достаточно точно определить положение уровня морского бассейна в прошлом и установить темпы вертикальных движений [1, 5, 7, 8]. В результате таких работ удалось датировать береговые линии моря на морском побережье. Но всё ещё остаётся нерешённым вопрос об амплитуде и темпах поднятия во внутренних частях Кольского региона.

В статье представлены результаты литологического, диатомового анализа изучения и радиоуглеродного датирования донных отложений озёр, расположенных на бортах долины р. Лотта (западная часть Кольского региона). Новые данные позволяют определить этапы дегляциации, условия осадконакопления в Лоттинской депрессии, оценить темпы и градиент поднятия, а также время формирования древних береговых образований.

Полученные данные и их интерпретация. В долине р. Лотты изучены донные отложения пяти озёрных котловин, расположенных на разной высоте и имеющих отметки урезов воды от 83,7 до 114,4 м н. у. м. Площадь водной поверхности исследованных озёр варьируют от 0,03 км² до 0,5 км², глубина меняется от 2,3 до 7,0 м. Озёра размещаются в эрозионных котловинах коренного фундамента.

По литологии и диатомовым данным в изученных разрезах были выделены три литогенетических типа донных отложений: осадки приледникового водоёма и наследовавшего его пресноводного водоёма-залива, заполнявшего долину Лотты в нижнем её течении (I), переходной зоны, формирующейся при отчленении малой котловины от крупного водоёма (II) и пресноводного изолированного озера (III). **Осадки литогенетического типа I** в разрезах представлены голубовато-серой глиной с песком, с тёмными пятнами (гидротроилита?). Диатомовая флора в этих осадках либо отсутствует, либо встречаются единичные створки пресноводных видов плохой сохранности. **Осадки литогенетического типа II** в разрезах представлены алевритистой гиттией. В этих осадках в небольшом количестве появляются створки пресноводных диатомей, в основном представленных индифферентными видами *Fragilaria* spp., *Staurosirella* spp., *Staurosira* spp., *Pseudostaurosira* spp., которые характерны для ранних стадий развития водоёмов и постледниковых озёрных осадков [11, 12 и др.]. **Осадки пресноводного озера** во всех разрезах представлены гиттией. В них отмечается резкое увеличение численного и качественного состава пресноводных диатомовых водорослей. Практически во всех озёрах в подошве гиттии, как и в нижележащих осадках переходной зоны, доминирующее положение занимают индифференты, среди которых наиболее часто преобладают по численности *Staurosirella lapponica* (Grun.) Williams et Round, *Stauroforma exiguiformis* (Lange-Bert.) R. J. Flower, V. J. Jones et Round, *Staurosira venter* (Ehrb.) Kobayasi, *Fragilaria pseudoconstruens* (Ehrb.) Hust. Видовое разнообразие диатомей увеличивается к кровле разрезов, представлены типичные озёрные диатомовые комплексы, состоящие из индифферентных и галофобных видов родов *Aulacoseira* Thw., *Cyclotella* Kütz., *Eunotia* Ehrb., *Tabellaria* Ehrb., *Frustulia* Rabenh., *Brachysira* Kütz. и др.

Таким образом, начало осадконакопления во всех озёрах происходило в условиях приледникового водоёма. По мере деградации ледника дегляциация области, соответствующей нижнему и среднему течению р. Лотты, сопровождалась формированием здесь обширного приледникового бассейна, частью которого являлись изученные озёрные котловины. В условиях приледникового водоёма накапливались установленные в базальной части изученных осадочных последовательностей голубовато-серые глины с песком, с тёмными пятнами (гидротроилита?). К сожалению, имеющиеся данные не позволили определить время начала их формирования. Но по данным, полученным для смежных районов, а именно: Инари [9], Никель [7], Полярный [8], Тулома [5], можно предположить, что осадки приледникового водоёма в долине р. Лотты образовались в начале или даже в середине пребореала.

Существовавший в долине р. Лотты приледниковый бассейн имел соединение с Баренцевым морем, на что указывают находки морских видов диатомовых водорослей в разрезах рыхлых отложений этого района, изучавшихся ещё до затопления территории водами Верхнетуломского водохранилища [4, 6]. Однако в результате изучения донных отложений из котловин, расположенных на отметках выше 80 м н. у. м., следов влияния морского бассейна не было обнаружено. Судя по всему, озёрные котловины освободились ото льда, когда мощный приток талых ледниковых вод в гляциоизостатическую депрессию препятствовал проникновению морской воды вглубь континента, а приледниковый водоём представлял собой опреснённый залив с неблагоприятными условиями для развития диатомой флоры. Верхняя его граница по данным распространения береговых образований в долине р. Лотта [4] в настоящее время расположена на высотных отметках, достигающих 120 м н. у. м. Следует отметить, что в верховье долины р. Тулома, вытекающей из водохранилища, была выявлена регрессия морского бассейна, существовавшего здесь в пребореале и бореале [5]. Это способствовало и понижению уровня опреснённого его залива, функционировавшего в пределах Лоттинской депрессии и наследовавшего приледниковый водоём после дегляциации в раннем и среднем голоцене. В результате изученные озёрные котловины в зависимости от своего высотного положения постепенно отделялись от него. В ходе отчленения в последовательности донных отложений каждого изученного озера вверх по разрезу отмечается переходная зона от

осадков приледникового или наследовавшего его обширного пресноводного водоёма к осадкам голоценового малого пресноводного озера. Котловина озера с высотной отметкой 114,4 м, в рельефе расположенная наиболее высоко, отделилось от приледникового водоёма раньше других исследованных озёр. После изоляции в ней в условиях небольшого водоёма некоторое время происходило минерагенное осадконакопление и сформировался прослой глины и алеврита. Условия для биогенного осадконакопления стали благоприятными, судя по датировке $8\,210 \pm 100$ ^{14}C л. н., только в конце бореала. Т. к. освобождение данной территории ото льда произошло примерно в середине пребореала ($\sim 9\,500$ ^{14}C л. н.), то изоляцию котловины озера с высотной отметкой 114,4 м можно условно оценить временем примерно $9\,000$ ^{14}C л. н. В остальных котловинах биогенное осадконакопление происходило сразу после их отделения от водоёма. Радиоуглеродные датировки фиксируют время, когда уровень крупного пресноводного водоёма-залива, существовавшего в гляциоизостатически опущенной Лоттинской депрессии, находился либо у порога стока озера (так называемое изоляционное событие), либо ниже порога стока (постизоляционное событие). По данным изучения осадков из озера с высотной отметкой 83,7 м около $7\,000$ ^{14}C л. н. уровень упомянутого крупного водоёма опустился ниже высотной отметки 83 м. Для реконструкции более позднего изменения его уровня на более низких отметках данных пока нет, т. к. соответствующие территории были затоплены водами водохранилища.

В разрезах донных отложений из 4 озёрных котловин осадки переходной зоны имеют неровные контакты. Появление таких возможно постседиментационных неровностей можно связать с сейсмическими событиями, которые проявлялись здесь и в Кольском регионе в голоцене. Так А. А. Никонов [4], изучая распространение береговых образований вдоль долины р. Лотты, также указывал на проявление дизъюнктивных дислокаций поздне- и послеледникового времени. Автор отмечал волнистое, изогнутое залегание комплекса осадков позднеледникового бассейна, а местами и нарушенное разрывными субвертикальными смещениями, без признаков подводного сползания. Близкое к друг другу расположение исследованных озёр позволяет сделать предположение, что нарушенные контакты между слоями соответствуют одному и тому же сейсмическому событию. Оно произошло, когда в этих котловинах уже происходило биогенное осадконакопление. Текстурные особенности контактов показывают, что осадки были ещё в неконсолидированном состоянии (в разжиженном виде), происходило смешивание органогенных и минерагенных осадков. Таким образом, время этого сейсмического события можно соотнести с начальными этапами биогенного осадконакопления в озёрных котловинах, судя по результатам радиоуглеродного датирования, оно соответствует началу атлантического периода ($8\,000$ – $7\,500$ ^{14}C л. н.).

Выводы. Освобождение долины р. Лотта от ледника произошло в начале – середине пребореального периода. У отступившего края ледника в гляциоизостатической депрессии сформировался водоём, который соединялся с морем, но из-за большого поступления талых вод оставался пресноводным. Его верхние береговые уровни достигают высотных отметок 120 м. Около $9\,000$ ^{14}C л. н. относительный уровень водоёма в современном устье р. Лотта находился на высотной отметке примерно 115 м над современным уровнем моря. В результате поднятия земной поверхности происходила регрессия водоёма, около $7\,000$ ^{14}C л. н. его уровень опустился ниже высотной отметки 83 м. В разрезах озёрных котловин в долине р. Лотты отмечаются следы сейсмических событий, время которых устанавливается интервалом $8\,000$ – $7\,500$ ^{14}C л. н.

Финансирование. Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН в рамках темы НИР 0226–2019–0054, а также в рамках государственного задания при финансовой поддержке Минпросвещения России (проект № FSZN-2020-0016).

Библиографические ссылки

1. Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б., Арсланов Х. А. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на Карельском берегу (район посёлка Энгозеро, Северная Карелия) // Докл. АН. 2013. Т. 449, № 5. С. 587–592
2. Кошечкин Б. И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л. : Наука. 1979.
3. Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. Л. : Изд-во АН СССР. 1960.
4. Никонов А. А. Развитие рельефа и палеогеография антропогена на западе Кольского полуострова. Л. : Наука. 1964.
5. Толстобров Д. С., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Корсакова О. П. Опыт хронологической корреляции береговых форм рельефа голоценового моря в депрессии реки Тулома и Кольском заливе // Вестн. МГТУ. 2016. Т. 19, №1/1. С. 142–150.
6. Черемисинова Е. А. Диатомовая флора морских отложений на р. Лотте // Материалы по геологии и полез. ископаемым Северо-Запада РСФСР. М. : Гостоптехиздат, 1962. Вып. 3. С. 58–68.
7. Corner G. D., Yevzerov V. Ya., Kolka V. V., Moller J. J. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia // Boreas. 1999. Vol. 28, N 1. P. 146–166.
8. Corner G. D., Kolka V. V., Yevzerov V. Ya, Moller J. J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // Global and Planetary Change. 2001. Vol. 31. P. 153–175.
9. Kujansuu R., Eriksson B., Gronlund T. Lake Inarijarvi, northern Finland: Sedimentation and late Quaternary evolution. Geol. Survey of Finland. 1998. N 143.
10. Ramsay W. Uber die Geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartarzeit // Fennia. 1898. Vol. 16, N 1.
11. Smol J. P. Palaeophycology of a high Arctic lake near Cape Herschel, Ellesmere Island // Canad. J. of Botany. 1983. Vol. 61. P. 2195–2204.
12. Wolfe A. A high-resolution late-glacial and early Holocene diatom record from Baffin Island, eastern Canad. Arctic // Canad. J. of Earth Science. 1996. Vol. 33. P 928–937.

УДК 551.3(571)

КАЙНОЗОЙСКИЕ ОСАДОЧНЫЕ ТОЛЩИ БАССЕЙНА р. СЕЛЕНГА: ЛИТОЛОГИЯ, ГЕНЕЗИС И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

В. Л. Коломиец, Р. Ц. Будаев

Геологический институт СО РАН,

ул. Сахьяновой ба, 670047 Улан-Удэ, Российская Федерация; kolom@ginst.ru

Рассмотрены вопросы аквального седиментогенеза и формирования осадочных толщ в разные временные срезы кайнозоя Западного Забайкалья. По материалам бурения установлено наличие полифациальных осадков водного генезиса эоцена – олигоцена и миоцена, что указывает на существование палеостока Селенги в сторону Сибирской платформы с этого времени вдоль уже существовавшей antecedentной долины в Хамар-Дабанском сужении. Трансгрессивный тип осадконакопления был свойственен плиоцен-среднеплейстоценовому временному отрезку кайнозоя, в результате чего во всех впадинах Западного Забайкалья формировались повышенные мощности лимноаллювия, вызванные развитием подпора и временных прекращений стока вследствие поднятия юго-западного горного обрамления Байкальской впадины. Для позднего плейстоцена – голоцена характерно суходольное развитие впадин и накопление осадков перстративной фазы аллювиальной аккумуляции.

Ключевые слова: кайнозой; осадочные толщ; межгорные впадины; террасы; осадконакопление; генезис; спорово-пыльцевые спектры; Западное Забайкалье.

В процессе морфотектонического анализа рельефа Западного Забайкалья и исследования коррелятных ему отложений выявлен существенный пробел в изучении палеоген-неогеновых толщ. В результате литолого-минералогических, палеогидрологических и палинологических исследований получен материал, который даёт основание по ареалам распространения тех или иных возрастных толщ достаточно уверенно установить во впадинах их распространение и определить направление палеостока на данном этапе.

При изучении осадочных толщ применялся стандартный комплекс литолого-фациальных исследований с получением полного ряда количественных характеристик процесса седиментации. При общих и региональных реконструкциях изменений климата и физико-географических условий данного региона использовался палинологический метод, основанный на изучении растительных остатков (спор и пыльцы), захороненных в различных отложениях.

Эоцен-олигоценовые отложения обнаружены в Хамар-Дабанском antecedentном сужении долины р. Селенга вблизи уровня воды у правого склона, а также в разрезе аллювия р. Уда, вскрытом скв. № 703 в Нижне-Удинской впадине [5].

У правого склона долины р. Селенга они залегают в основании 25-метровой террасы до 2,0 м выше уреза воды и вскрываются горными выработками. Это мелкозернистые кварц-полевошпатовые пески жёлтого цвета. Согласно литологическому анализу, условиям их накопления соответствовал спокойный турбулентный поток широкого речного русла с озеровидными расширениями, малыми скоростями, глубинами и уклонами водного зеркала. Полное отсутствие глинистых частиц даёт основание отнести эти осадки к прибрежной фации с наложенной волновой переработкой материала. Это подтверждается значением коэффициента вариации ($v = 0,39$), который указывает на близость придельтовой части водоприёмного бассейна. Обоснованием для установления эоцен-олигоценового возраста послужило распространение во время осадконакопления лесной растительности тропического облика (*Podozamites*, *Bennettites*, *Araucariaceae*, *Podocarpus*, *Ginkgo*, *Cupressaceae*, *Abies*, *Larix*, *Tsuga*, *Ephedra*), наличие споровых растений *Schizaea dorogensis* Chlon., *Gleichenia*, *Osmunda* sp., *Salvinia* sp., *Lygodium* (2 вида), *Aneimia tricastata* Bolh., большое количество травянистой растительности, неопределённых трёхбороздных форм и единичные находки *Tricolporites* sp. [2].

В долине р. Уда, в районе с. Старая Курба скв. № 703 вскрыт 70-метровый разрез аллювиально-озёрных отложений, представленный переслоенными слабосцементированными песчаниками разной зернистости с алевритами, местами углефицированными. Нижняя часть разреза сложена крупнозернистыми плтносцементированными верхнемеловыми песчаниками. С постепенным переходом через глинистый прослой на верхнемеловых песчаниках залегают пачка алевритов с остатками растительного детрита на глубине от 70 до 64 м. На основании палинологических определений толща делится на 2 горизонта. Для нижнего (70–67 м) характерен спорово-пыльцевой спектр с преобладанием древесно-кустарниковых растений (до 74,3 %) и участием споровых до 21,5 %. Несмотря на присутствие меловых форм (древних голосеменных), в спектре доминирует пыльца широколиственных влаголюбивых растений (*Platanus* sp., *Palmae* sp., *Sabal* sp.), характерно присутствие пыльцы формального рода *Extratrilporopollenites*. В споровом составе участвуют *Gleichenia* sp., *Lygodium*, *Aneimia*, временной диапазон которых распространяется на мел-палеоген. Для верхнего горизонта (67–64 м) можно констатировать заметные изменения климатических условий при неизменном характере осадконакопления. Хотя по-прежнему здесь доминирует древесная растительность (67,8 %), но в видовом составе спектра выпадает большая часть меловых форм. Появляется *Ginkgo* sp. – один из листопадных представителей умеренной и теплоумеренной зон северного полушария. В споровом составе исчезли различия меловой флоры. Такой характер спектра указывает на изменение климатических условий и распространение пышных хвойно-широколиственных лесов, близких к олигоценовым лесам Арало-Тургая, Западно-Сибирской низменности и Енисейского кряжа. На основании вышеизложенного, возраст указанных об-

разований следует принять в границах конца эоцена – начала олигоцена и сопоставить их с отложениями каменной свиты Ангаро-Ленского междуречья [1].

Олигоцен-миоценовые отложения в виде песчаника мелкозернистого с редким гравием с размывом залегают выше по разрезу скв. № 703 (интервал 64–58 м). Палинологическая характеристика этих отложений показывает, что здесь довольно разнообразно представлены древесные растения: хвойные – 19 %, широколиственные – 23 % и мелколиственные – 7 %. Из широколиственных отмечены представители теплоумеренных зон: кария, липа, каштан, клен, дуб, орех, граб, ольха древовидная и некоторые субтропические породы (магнолия и др.). Довольно высок процент пыльцы хвойных из семейства Pinaceae, Tsuga sp., Pinus silvestris L., Pinus, подрод Harpoxylon. Аналогичные пыльцевые комплексы характерны для олигоцен-миоценового времени осадконакопления [2].

В Иволгинской впадине обнаружены и изучены осадки озёрного мелководья, которые содержат малакофауну верхнеолигоценового-нижнемиоценового возраста; это – пеллециподы Limnoscapha cf. maxima Mart., Unio cf. pseudodistortus Mart., Lanceolaria sp. и Ostracoda [3]. Установлено, что пластинчатожаберные Иволгинской котловины тождественны до вида танхойским формам, что говорит о связи палеобассейнов на месте современной южной впадины Байкала и Западного Забайкалья. По данным бурения мощность отложений достигает здесь 56,5 м [4]. Разрез представлен зеленовато-серыми и желтовато-серыми плотными глинистыми алевритами с прослоями тонкозернистых слабосцементированных песчаников озёрно-речного генезиса. Подобные образования прослеживаются в центральных частях всей Иволгино-Удинской системы впадин, местами – с преобладанием дельтовых фаций, где доминируют желтовато- или коричневатые-серые слабосцементированные крупно- и мелкозернистые песчаники с редкими прослоями гравия и мелкого галечника.

Миоценовые отложения нерасчленённые. В процессе полевых исследований был изучен разрез слабосцементированных песчаников речного облика мощностью порядка 70 м на тектонической перемычке Гусиноозерской и Убукунской впадин. В разрезе присутствуют прослой озёрно-аллювиальных отложений, представленных аргиллитами тонкоплитчатыми коричневатые-серыми и алевролитами массивной текстуры. По степени диагенеза они соответствуют миоценовым образованиям Южно-Байкальской впадины. Толща охарактеризована спорово-пыльцевым комплексом, в составе которого доминируют споровые растения (70,9 %), меньше – древесно-кустарниковых. В составе древесных пород участвуют древние голосеменные (Cordaitina sp. – 24,5 %), хвойные семейства Pinaceae. Споровые представлены тремя родами папоротников (Gleichenia sp., Schizaeacites, Polypodium sp.). Встречена пыльца осок (Cyperaceae – 4,5 %). Сравнительно обеднённый спорово-пыльцевой комплекс древесной растительности позволяет сделать вывод о том, что на этой территории были распространены теплолюбивые древние хвойные леса с богатым папоротниковым подлеском. Климатические условия осадконакопления данных образований были тёплыми и влажными, что характерно для миоценового возраста.

Среднемиоценовые отложения по скв. № 703 (58–28 м) представлены слабосцементированными песчаниками с прослоями тёмно-серых углефицированных алевритов до 0,2–0,4 м интервалом через 0,5–1,5 м. Породы оказались мало содержащими микрофоссилии, однако, залегающий выше горизонт охарактеризован достаточным их количеством, чтобы отнести породы указанного интервала к среднему миоцену и началу верхнего.

Позднемиоценовые отложения. Горизонт, сложенный слабосцементированными гравелистыми песчаниками, часто переслоенными с мелко-среднезернистыми разностями и тонкими слойчатыми глиноалевритовыми прослоями мощностью до 0,3–0,5 см, залегают в интервале гл. 28–7 м (скв. № 703). Древесная часть спорово-пыльцевого спектра представлена преимущественно пыльцой хвойных, где доминируют Pinaceae, Pinus sibirica, Pinus silvestris, Picea sp., Tsuga sp., Podocarpus sp. Значительно участие пыльцы широколиственных – Castaneae sp., Quercus sp., менее значительно – мелколиственных: Betula sp., Salix sp.. Спор

немного (*Polypodiaceae*), однако увеличилось количество пыльцы травянистых растений (*Gramineae*, *Chenopodiaceae*, *Compositae*, *Ranunculaceae*, *Artemisia* sp.). Подобные комплексы с учётом экологических особенностей отнесены к позднемиоценовым спектрам верхней половины баяндайской свиты [1]. Следовательно, возраст отложений по скв. № 703 можно представить в низах толщи концом позднего эоцена – началом олигоцена. Средняя и верхняя части разреза от 64 до 7 м – миоценом.

Ранне-позднеплиоценовые отложения. В районе Иволгино-Удинской тектонической перемычки зафиксированы вложенные в галечниковую и песчаниковую толщу березовской свиты: 1) аллювиально-пролювиальные красновато-бурые песчанистые глины с включениями переотложенных охристых галечников и гравия и 2) фациально связанные с ними палево-серые пролювиально-озёрные осадки с красновато-бурыми прослоями суглинков [4].

Новое значительное усиление тектонической активности в начале плиоцена предопределило относительно короткий, но чрезвычайно динамичный плиоцен-антропогеновый этап развития Западного Забайкалья. Горные сооружения того времени представляли собой низкогорные гряды, ширина которых была близка ширине хорошо разработанных днищ транзитных речных долин Селенги и Итанцы.

Активизация дифференцированных тектонических движений в *эоплейстоцене* – некоторое опускание впадин и поднятие хребтов – вызвала накопление толщи аллювия и постепенное заполнение плиоценового вреза. Местные знакопеременные движения обусловили возникновение локального подпора и увеличение привноса материала во вновь образовавшиеся понижения. Одновременно наиболее интенсивное поднятие на antecedentном участке долины Селенги привело к образованию скульптурно-аккумулятивной террасы. На склонах, где ранее отлагались делювиальные красноцветы тологойской свиты позднего плиоцена, формировались толщи красно-бурого делювия, а также грубослоистого ложкового аллювия и пролювия (разрез Засухино) [4].

Осадки *нижнего плейстоцена* вскрыты бурением в долине р. Итанцы, в которых преобладает крупный галечник с разнофракционными песчаными образованиями. Характер распределения мелкого субстрата свидетельствует о его слабой сортировке в межень, а относительно низкая степень окатанности – о скорой аккумуляции. Накопление повышенного от нормы аллювия при неизменной климатической обстановке могло быть вызвано усилением эрозии и склоновой денудации вследствие восходящего развития рельефа и опускания впадины. В это время господствовала горная лесостепь, открытые пространства занимали полынно-разнотравные ассоциации.

Отложения *среднего плейстоцена* (кривоярская свита) представлены озёрно-аллювиальными песчаными и лессовидными образованиями аллювиально-пролювиального происхождения. Слагают мощные подгорные шлейфы, увалы и террасы высотой 30–50 м. Аккумулятивная толща VI террасы (40–50 м) не везде является аллювиальной. Она представлена также делювиально-пролювиальными и озёрно-речными фациями. Вдоль склонов Селенги уровень террасы хорошо выражен. К низам её толщи часто прислонены отложения V террасы, а верхи её бывают сильно размыты и перекрыты песками позднеплейстоценовых и более молодых эоловых покровов. Исходя из характера распространения песков и супесей, прислонённых к юго-восточным бортам впадин и соответствующему общему наклону крыла Байкальского свода, формирование террасы происходило в условиях постепенного подъёма и ингрессии вод Байкала. Сначала – в Усть-Селенгинскую, далее в Итанцинскую впадины, затем через antecedentную долину р. Селенги внедрение вод осуществлялось и в пределы Иволгинской впадины [4].

Разрезы песчаной толщи V террасы накапливались по констративному типу аккумуляции и имели высокие мощности (30–35 м), т. к. подпор в районе истока Ангары всё ещё оставался. V терраса чаще всего располагается под крутыми короткими склонами долины Селенги. Её отложения связаны с периферийными фациями дельт, конусов выноса крупных падей и

сухих распадков. Фрагменты террасы хорошо сохранились вдоль обоих склонов долины Селенги и выдержаны по высоте. Нижняя часть разреза, состоящая из песчано-галечных образований, формировалась в относительно аридных, но умеренных условиях ширтинского межледниковья. Образование песчаных осадков верхней части толщи происходило на фоне выравнивания зимних и летних температур, постепенного похолодания и изреживания лесов. Это похолодание закончилось новым оледенением высокогорья, синхронным тазовскому выдвиганию покровных западносибирских ледников и иссушением климата.

Для *позднего плейстоцена* данной территории характерен комплекс различных по генетическим типам разновозрастных отложений. Они представлены склоновыми, делювиальными, золово-делювиальными, аллювиально-пролювиальными, аллювиальными и другими генотипами осадков, слагающими аккумулятивный рельеф межгорных впадин, подгорные шлейфы и покровы горного обрамления. В самом начале, в казанцевское межледниковье была сформирована IV надпойменная терраса. Она выполнена алевритистыми песками повышенной мощности (20–25 м) и её формирование связано с регрессивной аккумуляцией в условиях повышенного базиса эрозии.

Образованная в ермаковское время III терраса (10–12 м) имеет фрагментарное распространение по долине Селенги вдоль обоих склонов. Характерно двухчленное строение: низы толщи сложены косослоистыми галечниками, верхи – алевритами или слоистыми мелкозернистыми песками. К этому времени осуществлялась мобилизация влаги в горах и опускание снеговой границы, формирование нагорных террас и выдвигание каменных глетчеров в горные долины. На поверхности террасы хорошо прослеживаются полигональные криогенные образования, связанные с развитием многолетней мерзлоты, и которые фиксируют первое мощное похолодание после накопления казанцевского аллювия.

К каргинскому времени относится аллювий II террасы (7–9 м). Видимая часть разреза представлена осадками русловой и пойменной фаций (галечники и алевритовые пески).

Для начала седиментогенеза аллювия I террасы (6–7 м) сартанского возраста также было характерно широкое развитие эрозионного уровня, связанного с увлажнением климата и повышением водности рек. На две трети толща террасы сложена песками и галечниками прирусловых фаций и до одной трети – гумусированными алевритами и песками. Поверхность террасы достаточно ровная, в большинстве случаев залесенена. В горах в этот период накапливались снежники и вновь формировались нагорные террасы, возобновилось выдвигание курумов в горные долины, у подножий аккумуляровались делювиально-солифлюкционные шлейфы.

В *раннем голоцене* происходило накопление аллювия *высокой поймы* (3–5 м) Селенги и её крупных притоков и связанных с ними ложковых аллювиально-пролювиальных и пролювиально-делювиальных отложений, овражного аллювия и пролювия. Аллювий высокой поймы представлен русловой и пойменной фациями: в верхней части – плотными тонкослоистыми иловатыми супесями с параллельным и косым залеганием, в средней – косослоистыми песками с гравием и галькой, в нижней – сортированными средними галечниками. Поверхность высокой поймы бугристая, залесенная. Раннеголоценовые супесчаные отложения образуют делювиальные покровы на поверхностях и откосах уступов высоких террас, конусов выноса и делювиальных шлейфов.

К *позднему голоцену* относятся отложения низкой поймы Селенги и её притоков (галечники, пески, иловатые супеси, суглинки, илы русловой и пойменной фаций), а также озёрно-болотные суглинки, глины и илы стариц, пролювиально-селевые и горно-селевые песчано-щебнистые отложения, торфяники болот, золовые пески молодых дюн и бугров.

Таким образом, можно полагать, что на эоцен-олигоцене и миоцене этапах тектоническое развитие рельефа Джидино-Удинской системы впадин Западного Забайкалья происходило в условиях субплатформенного режима. Впадины дренировали реки полугорного и равнинного типов на фоне общего медленного поднятия при значительном отставании

прогибания их днищ. Антецедентная долина р. Селенга в Хамар-Дабанском сужении в это время уже существовала, и вдоль нее был направлен сток в сторону Сибирской платформы через систему добайкальских озёр, эоцен-олигоценовые и миоценовые осадки которых зафиксированы бурением в Усть-Селенгинской впадине на глубине от 300 до 1 400 м [5]. Дальнейшая плиоцен-плейстоценовая история региона также связана с господством аквальных обстановок формирования осадочных толщ днищ и террасовых комплексов межгорных впадин.

Библиографические ссылки

1. Белова В. А. Растительность и климат позднего кайнозоя юга Восточной Сибири. Новосибирск : Наука, 1985.
2. Каталог местонахождений ископаемой фауны и флоры территории юга Восточной Сибири. Иркутск : ВСНИИГГиМС, 1980. Т. 1. С. 69–83.
3. Михно Н. П., Базаров Д. Б., Скобло В. М. Материалы по геологии и полезным ископаемым Бурятской АССР. Улан-Удэ, 1960. Вып. 1 (IV). С. 111–113.
4. Резанов И. Н. Кайнозойские отложения и морфоструктура Восточного Прибайкалья. Новосибирск : Наука, 1988.
5. Резанов И. Н., Коломиец В. Л., Дергаусова М. И., Резанова В. П., Савинова В. В. Об олигоцен-миоценовых отложениях Юго-Западного Забайкалья и палеостоке на Сибирскую платформу // Геодинам. эволюция литосферы Центрально-Азиат. подвиж. пояса (от океана к континенту): Материалы науч. совещ. (Иркутск, 20–23 окт. 2003 г.). Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2003. С. 198–202.

УДК 551.3(571)

ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ СУХОДОЛЬНЫХ ВПАДИН БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ

В. Л. Коломиец

Геологический институт СО РАН,
ул. Сахьяновой ба, 670047 Улан-Удэ, Российская Федерация; kolom@ginst.ru

В днищах межгорных впадин Байкальской рифтовой зоны (от Муйско-Куандинской на северо-восточном фланге до системы Тункинских впадин на юго-западе) в плейстоцене преобладало флювиальное и лимническое накопление отложений. Осадочные комплексы высоких террас (VII–IV) формировались преимущественно в аллювиально-озёрной среде, а низких (III–I) – накапливались в речных условиях. Четыре эпизода поднятия уровня Байкала, соответствующие фазам тектонической активизации территории, сопровождались ингрессиями вод в речные долины его бассейна и образованием стационарных неглубоких озёрных проточных водоёмов в суходольных впадинах. С понижением уровня Байкала происходила деградация этих водоёмов.

Ключевые слова: суходольные впадины; террасовый комплекс; осадконакопление; фазы тектонической активизации; ингрессии байкальских вод.

Плейстоценовый структурный ярус Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) представлен преимущественно алевритово-псаммитовыми отложениями днищ впадин: Муйско-Куандинской, Парамской, Верхнеангарской, Баргузинской, Усть-Баргузинской, Налимовской, Нижнетуркинской, Котокельской, Тункинской и Усть-Селенгинской (рис.). Осадочным толщам свойственны однообразные внешние признаки – сходная цветовая гамма, литологический состав и текстура. Они слагают не менее семи эрозионно-аккумулятивных и аккумулятивных террасовых уровней. В Муйско-Куандинской впадине определено 8 уровней [1]. По своему происхо-

ждению уровни относятся к флювиальной и лимнической группам аквального парагенетического ряда континентальных осадочных образований [2].

При осуществлении литолого-стратиграфических и палеогеографических реконструкций в Восточном Прибайкалье применяется ситовой гранулометрический анализ, основными способами обработки которого являются графический и статистический методы [5, 6]. Для отложений, аквальный генезис которых достоверно подтверждается всеми присущими для данного типа особенностями, в первом приближении можно восстановить параметры речного потока (палеопотамологический анализ), транспортировавшего и отлагавшего осадочный материал, используя установленные связи и закономерности между различными гидродинамическими характеристиками, принятыми в гидрологии [3].



Рисунок – Впадины центральной части Байкальской рифтовой зоны (www.maps.google.com)

1 – Тункинская; 2 – Усть-Селенгинская часть Байкальской впадины; 3 – Котокельская, Нижнетуркунская, Налимовская; 4 – Усть-Баргузинская; 5 – Баргузинская; 6 – Верхнеангарская; 7 – Муйско-Куандинская; 8 – Парамская.

VIII террасовый уровень относится к позднему плиоцену – эоплейстоцену (высота 160–200 м) и развит в Муйско-Куандинской впадине [1]. Представлен мелкоструктурными горизонтально-слоистыми песками береговых и прибрежных фаций озёрной макрофации, которые накапливались в неглубокой акватории стационарных проточных лимнических водоёмов с малым волнением и придонным субламинарно-суспензионным течением. Мелко-среднезернистые псаммиты с наклонной и волнистой текстурой формировались меандрирующими водотоками речного облика с замедленным слаботурбулентным однонаправленным поступлением воды в русловых и пойменных фациях речной группы фаций.

VII террасовый уровень рубежа эоплейстоцена – плейстоцена (высота 110–160 м) изучен в опущенных блоках днищ и по периферии Верхнеангарской, Муйско-Куандинской, Па-

рамской, Баргузинской, Налимовской, Котокельской и Тункинской котловин. Осадки – субгоризонтально-слоистые тонко-мелкозернистые пески, алевропески и алевриты, аккумуляровавшиеся в проточных лимнических водоёмах с небольшими глубинами (до 3–5 м). Для палеопотоков перечисленных впадин реконструированы сходные динамические параметры. Они имели равнинный (число Фруда, $Fr < 0,1$), реже полугорный ($Fr = 0,1–0,2$) типы натуральных открытых русел с площадью водосбора $>100 \text{ км}^2$ в комфортных условиях пребывания ложа и беспрепятственного движения воды (коэффициент шероховатости ложа, $n > 40$). Начальным моментом движения наносов в руслах палеорек являлся порог минимальных значений срывающих скоростей водного потока 0,3–0,4 м/с. Аккумуляция начиналась с падением придонной скорости до 0,2 м/с. Палеорекам были свойственны узкие рамки изменений скоростного режима течения воды от 0,4 до 0,5 м/с, а также уклонов продольного профиля – от 0,2 до 0,7 м/км. В подавляющем большинстве случаев динамика потоков характеризовалась переходным режимом осаждения между турбулентным и ламинарным типами, что соответствует способу переноса в виде сальтации с подчинённой ролью суспензий. Малые значения ϕ -критерия устойчивости русел (менее 100 ед.) конкретизируют исследуемые флювиальные системы как немобильные, которые вряд ли могли осуществлять масштабную разрушительную работу по изменению гидрографической сети и рельефа в целом. В фациальном отношении изучаемый гранулометрический спектр принадлежит полю совмещения лимнических и аллювиальных условий седиментации с преимущественным распространением прибрежно-береговых фаций озёрной группы и меньшим – русловых и пойменных речной группы.

VI, V и IV террасовые уровни. Ранне-среднеплейстоценовые отложения, слагающие уровни 80–100 м (VI), 50–80 м (V) и 25–50 м (IV), развиты повсеместно во всех межгорных рифтовых впадинах. Они сложены слоистыми крупно-средне-мелкозернистыми песками с субгоризонтальной, наклонной и косой слоистостью. Подчинённую роль играют пограничные разности обломочного спектра.

Осадкообразование террасовых уровней протекало в близких условиях неглубоких устойчивых озёрных незастойных водоёмов (от 2–3 до 5–7, редко 10 м). Материал доставлялся равнинными, в основном полугорными ($Fr = 0,1–0,3$), горно-грядовыми ($Fr = 0,3–0,5$) потоками с площадью водосбора более 100 км^2 постоянных, хорошо разработанных русел со свободным течением воды в благоприятных и весьма благоприятных условиях положения ложа ($n = 30–40$). Срывающие скорости варьировали от 0,3 до 1,3 м/с, скорости отложения – от 0,2 до 0,8 м/с, поверхностные скорости течения – от 0,3 до 2,0 м/с, уклоны водного зеркала – от 0,5 до 2 м/км. Режим осаждения был слаботурбулентным и переходным, господствовал скачкообразный способ транспортировки от фазы гладкого дна к появлению грядовых подвижных форм руслового рельефа. По ϕ -критерию устойчивости такие палеопотоки определяются как слабоподвижные.

По генетико-фациальной природе осадки высоких террас аккумуляровались: а) в мелководных, достаточно крупных, проточных лимнических водоёмах с малоамплитудным характером волновых колебаний и разветвленной сетью придонных течений, приведших к образованию субгоризонтально-слоистых алевритово-тонкопесчаных пород береговых и прибрежных фаций лимнической макрофагии; б) в однонаправленных слабодинамичных и немобильных речных потоках с замедленным движением воды ввиду их подпора в придельтовом положении русел с появлением наклонно- и косослоистых мелко-среднезернистых песков русловых и пойменных фаций речной макрофагии.

III, II и I надпойменные террасы. Комплекс аллювиальных террас 15–25 м (III), 9–12 м (II), 4–9 м (I) сформирован позднеплейстоценовыми отложениями, широко распространёнными во всех отрицательных морфоструктурах БРЗ. Осадки – субгоризонтально- и косослоистые мелко-среднезернистые пески с добавками гравийно-галечных включений и примесями

алевритово-пелитовых частиц. Средой их накопления были стационарные слабоподвижные, подвижные извилистые потоки полугорного и горного грядового типа в благоприятных и обычных условиях состояния коренного ложа с особенностями в направлении водных струй течения и рельефе дна со срывающими скоростями 0,3–2,0 м/с, скоростями отложения 0,2–1,3 м/с, поверхностными скоростями течения 0,3–3,0 м/с, уклонами водного зеркала 0,5–10,0 м/км. Седиментационный режим характеризовался турбулентным и переходным типами осаждения и переносом дезинтегрированного вещества, главным образом, сальтацией, качением и волочением обломков по дну, что подтверждается значениями универсального критерия Ляпина (0,20–0,72). Гидродинамические параметры палеопотоков в значительной степени сопоставимы с подобными показателями современных главных рек рифтовых впадин – Верхней Ангары, Муи, Баргузина, Турки, Иркута.

Что же послужило основой столь длительного существования аквального седиментогенеза в межгорных впадинах центральной части Байкальской рифтовой зоны во временном диапазоне от эоплейстоцена до конца среднего плейстоцена? Ясно, что исключительность геологической структуры или особенности протекания экзогенных процессов в отдельных изучаемых котловинах не могли оказать никакого воздействия на столь протяжённую территорию – от бассейна р. Иркут на юге до среднего течения р. Витим на севере. Следовательно, такими причинами были только те явления, которые имели всеобъемлющий характер и прямую связь с эволюцией природной среды данного региона.

Обратимся к позднекайнозойской истории Прибайкалья – могли ли известные нам события привести к возникновению особых условий осадконакопления в БРЗ, следы которых отчетливо фиксируются наличием мощных (первые сотни метров) песчаных толщ высокого террасового комплекса во всех без исключения впадинах, крупных и более мелких. В первую очередь обращают на себя внимание процессы тектогенеза.

Первой такой фазой, проявившейся не только на территории БРЗ, но и Центральной Азии была раннеприморская фаза (1,3–1,1 млн лет) с быстрым подъёмом западного борта Байкальской впадины, прекращением ленского стока Байкала через р. Пра-Манзурку и, как следствие, ингрессионным повышением уровня его вод и формированием осадочных толщ на восточном побережье. Эоплейстоценовый тектонический подпор имел место и в крайней, северо-восточной оконечности исследуемого района – в Муйско-Куандинской впадине (Северо-Муйское сужение р. Витим) [2].

По результатам спорово-пыльцевых анализов (Баргузинская впадина) и радиотермолюминесцентного (РТЛ) датирования ($1,0 \pm 0,09$ млн лет, Налимовская впадина) самый высокий, VII террасовый уровень по своему образованию соответствует данному временному промежутку тектонической активизации. Поэтому главенство комплексных лимно-аллювиальных и лимнических обстановок седиментогенеза при накоплении седьмого уровня можно сопоставить с первой ингрессией вод Байкала в речные долины и межгорные впадины байкальского направления стока, что привело к появлению достаточно крупных, но не отличавшихся большими глубинами, озёр в днищах котловин с палеопритоками равнинного (ввиду препятствия оттоку) и полугорного типов.

Вторым моментом тектонического и вулканического оживления этой территории явилась позднеприморская фаза (800–600 тыс. лет), во время которой произошло интенсивное воздымание западного плеча Байкальского рифта. Она способствовала новому подъёму поверхности оз. Байкал, последующей второй ингрессии и аккумуляции, по мнению Н. А. Логачёва, «тёплых» досамаровских песчаных горизонтов Забайкалья и Прибайкалья. Свидетельства её, по нашим исследованиям, представлены VI эрозионно-аккумулятивным террасовым уровнем, получившим самое широкое распространение во всех впадинах байкальского типа. Подтверждением этому является РТЛ-возраст отложений основания Верхнего Куйтуна (Баргузинская впадина) 790 и 830 тыс. лет, а также спорово-пыльцевые спектры (Муйско-Куандинская, Баргузинская, Усть-Баргузинская котловины), указывающие на суще-

ствование умеренно-тёплых и влажных климатических условий. Толща имеет аквальное происхождение с соответствующим набором динамических параметров аккумуляции осадков.

Хубсугульская фаза тектонической активизации (600–400 тыс. лет) вызвала структурную перестройку данной территории, сопровождавшуюся прекращением вулканизма в центральной части БРЗ (Витимское плоскогорье, Тункинская впадина, Джидинский район). Очевидно, что такое, столь значимое, событие не могло не отразиться на характере развития других природных явлений, способствовавшее, в частности, проявлению третьей ингрессии байкальских вод. Высота её достигала ста метров выше современного [4]. В рельефе днищ впадин БРЗ она привела к образованию V эрозионно-аккумулятивного уровня комплексного озёрно-речного генезиса. Осадки из урочища Верхний Куйтун, продатированные РТЛ-методом (почти тот же временной диапазон – от 380 до 460 тыс. лет), отлагались в постоянных лимнических водоёмах с проточным режимом.

Последняя, тыйская фаза тектонической активизации (150–100 тыс. лет), ознаменовавшая переход к ангарскому стоку вод оз. Байкал обусловила четвертое внедрение байкальских вод во впадины, открытые к Байкалу, возникновение и удержание там неглубоких озеровидных бассейнов, в которых и был сформирован IV террасовый уровень (РТЛ подтверждение получено для Баргузинской, Нижнетуркинской и усть-селенгинской части Байкальской впадин).

Могли ли климатические условия – неоднократные эпохи потеплений и похолоданий среднего и позднего неоплейстоцена – стать первопричиной столь масштабных преобразований в Прибайкалье? Основываясь на богатом палеофлористическом материале, И. Н. Резанов [4] исключал такую возможность, как основу сценариев общерегиональных событий, хотя две стадии продолжительных оледенений северной части Прибайкалья в самаровское и тазовское время среднего неоплейстоцена приводили к образованию подпрудных ледниковых озёр в системе Муйских впадин и накоплению песков лимнического генезиса [1].

Происхождение низкого террасового комплекса межгорных впадин установлено как аллювиальное. Но в Усть-Селенгинской, Котокельской, Нижнетуркинской, Налимовской, Усть-Баргузинской впадинах, т. е. в отрицательных морфоструктурах, имеющих самые низкие гипсометрические уровни днищ на прямом контакте с оз. Байкал, в строении надпойменных террас присутствуют толщи озёрного генезиса. Одной из возможных причин их появления могли быть кратковременные поднятия уровня вод Байкала с последующей их ингрессией, не исключено, и внешнего характера, что указывает на одни и те же неотектонические и палеоклиматические факторы седиментогенеза.

Следовательно, большие по мощности алевритово-псаммитовые осадки, слагающие комплекс террасовых уровней и получившие повсеместное развитие во всех рифтовых впадинах, имеют аквальный характер седиментации. Структурно-текстурные свойства осадочных пород позволяют подразделить их на две основные толщи, коррелируемые с этапами образования высоких террасовых уровней и низких надпойменных террас. Высокие террасовые уровни (VII–IV, время накопления: эоплейстоцен – конец среднего плейстоцена) комплексного флювиально-лимнического генезиса формировались главным образом по констративному типу в обстановках устойчивого подпора рек с возникновением и длительным существованием неглубоких проточных стационарных озеровидных объектов в днищах впадин. Позднеплейстоценовое осадкообразование низкого террасового комплекса (III–I уровни) характеризовалось преобладанием речных условий седиментации – в разрезах преобладают русловые и, как правило, венчающие их пойменные фации перстративной фазы аккумуляции, примерно равные нормальным мощностям аллювия.

Причинами, побудившими доминирование водного происхождения осадочных толщ высокого террасового комплекса, явились неоднократные ингрессии вод Байкала (не менее 4 эпизодов) в речные долины байкальского направления стока на фоне охвативших Прибайкалье дифференцированных тектонических движений 4 фаз активизации – раннеприморской

(1,3–1,1 млн лет), позднеприморской (800–600 тыс. лет), хубсугульской (600–400 тыс. лет) и тыйской (150–100 тыс. лет). В позднем неоплейстоцене спуск ингрессионных вод завершился практически повсеместно, впадины стали суходольными, что подтверждается формированием низких террас. Для котловин, открытых к Байкалу, имеются отдельные толщи лимнического генезиса, связанные с возможными кратковременными поднятиями уровня его вод или существованием реликтовых озёр – остатков крупных среднееоплейстоценовых водоёмов.

Библиографические ссылки

1. Базаров Д.-Д. Б., Будаев Р. Ц., Дергаусова М. И., Ихметхенов А. Б., Резанов И. Н., Резанова В. П., Савинова В. В. Геоморфология Северного Прибайкалья и Станового нагорья. М.: Наука, 1981.
2. Коломиец В. Л. Седиментогенез плейстоценового аквального комплекса и условия формирования нерудного сырья суходольных впадин Байкальской рифтовой зоны: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2010. 18 с.
3. Коломиец В. Л. Реконструкции параметров палеопотоков по ископаемым осадкам // Вестн. Бурят. ун-та. Сер. 3: география, геология. 1998. Вып. 2. С. 92–100.
4. Резанов И. Н. Кайнозойские отложения и морфоструктура Восточного Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1988.
5. Шарпов И. П. Применение математической статистики в геологии. М.: Недра, 1965.
6. Шванов В. Н. Песчаные породы и методы их изучения. Л.: Недра, 1969.

УДК 550.8.052.77:552.5(470)

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ОТЛОЖЕНИЙ 6–8-МЕТРОВОЙ ТЕРРАСЫ р. ИРБА

Г. Ю. Ямских, Э. В. Маады, Д. Е. Макарчук

Сибирский федеральный университет, Институт экологии и географии, Свободный пр. 79, 660041 Красноярск, Российская Федерация; yamskikh@mail.ru

Установлено, что толща осадков 6–8-метровой террасы р. Ирба формировалась в различных гидролого-климатических условиях. Нижние горизонты представлены русловым аллювием. Средние горизонты отложений (1,0–6,6 м) сложены песками и супесями (с прослоями суглинков в толще песков), что указывает на формирование отложений при неравномерном гидрологическом режиме. Верхний метровый горизонт представляют пылеватые суглинки и супеси, что свидетельствует о формировании осадков в условиях медленного поверхностного водотока или периодического иссушения и перевевания отложений на поверхности террасы.

Ключевые слова: гранулометрический состав; магнитная восприимчивость; река Ирба

Река Ирба является правым притоком второго порядка р. Енисей и расположена территории Южно-Минусинской котловины. Разрез «Курагино» – 6–8 метровой террасы был заложен в Курагинском р-не Красноярского края в 1 км северо-восточнее пос. Курагино: 53°54' с. ш., 92°46' в. д. (рис. 1). Изучение отложений основывалось на применении общепринятых стандартных методов: определение гранулометрического состава (комбинированным способом) магнитной восприимчивости, рН, гигроскопической влажности [1–3]. Измерения магнитной восприимчивости (χ , 10^{-5} ед. СИ) отложений производились с помощью каппаметра КТ-5. Магнитная восприимчивость большинства горных пород определяется, прежде всего, присутствием и процентным содержанием ферромагнитных минералов (магнетита и титаномагнетита) [4].

Изучение гранулометрического состава и магнитной восприимчивости отложений 6–8-метровой террасы р. Ирба позволяет охарактеризовать её отложения, определить динамику и условия их формирования.

Отбор образцов производился снизу вверх и включал все горизонты отложений 6–8-метровой террасы р. Ирба. Мощность разреза составляла 6,6 м (рис. 2).

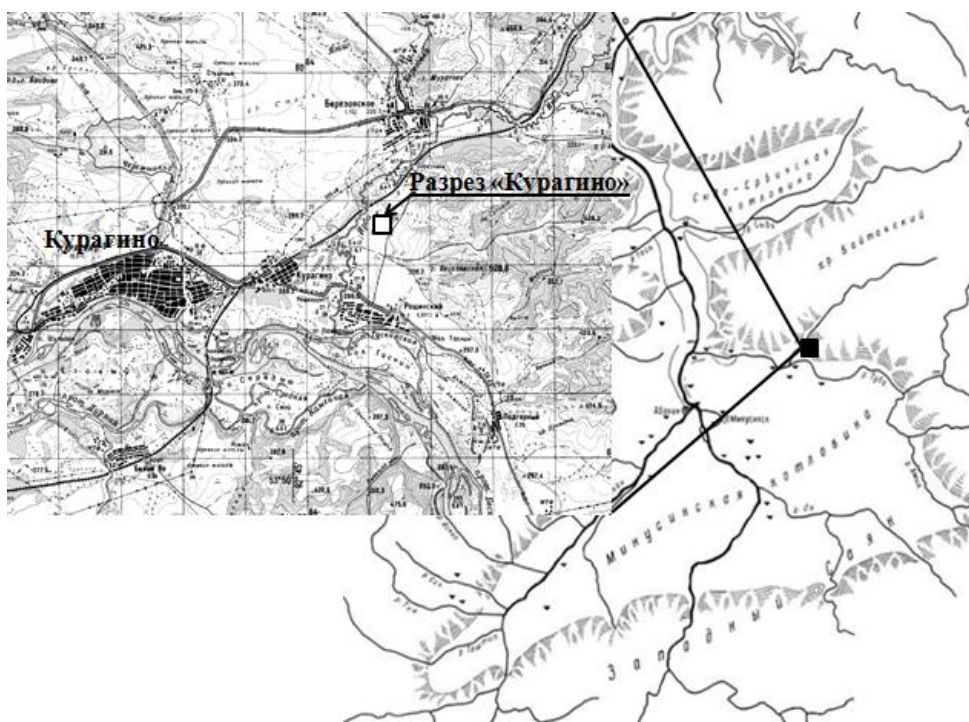


Рисунок 1 – Местоположение разреза отложений «Курагино»



Рисунок 2 – Фото строения отложений опорного разреза «Курагино»

Разрез имеет следующее строение:

Глубина, м	Описание горизонтов
0,0–0,4	Верхний 0,4-метровый горизонт отложений представлен гумусированными тяжёлыми суглинками буровато-чёрного, тёмно-бурого и тёмно-каштанового цвета. Весь горизонт пронизан корнями растений, для него характерна комковатая структура, рыхлое сложение, плохая оструктуренность. Переход постепенный, граница ровная.
0,4–0,6	Гумусированные среднесуглинистые отложения каштанового и светло-каштанового цвета, макропористого таблитчатого строения, ходы корней растений ($d = 0,5$ см) обуглены, структура мелкозернистая, сложение пористое уплотнённое тонкотрещиноватое, переход постепенный, граница неровная – отходят гумусированные языки до 10 см.
0,6–0,8	Суглинок лёгкий желтовато-бурого цвета, структура мелкокомковато-пылеватая, сложение тонкодисперсное, уплотнённое, встречаются корни растений, переход постепенный, граница неровная.
0,80–2,95	Супесчаные пылеватые отложения палевого цвета, сложение тонкодисперсное плотное, переход постепенный, граница ровная. Присутствуют гумусированные примазки и в виде горизонтальных нитей, включения карбонатов и обуглившись точек по ходам корней, палевого цвета. Встречаются корни растений, поры небольшие и чистые ($d = 0,5$ мм); включения раковин моллюсков на уровне 2,0–2,5 м и конкреций – 2,75 м, на уровне 2,95 м найден костный остаток.
2,95–4,27	Горизонтально-слоистая толща лёгких суглинков и песка кремовато-сероватого цвета: 4,10–4,00 м – суглинок; 4,99–4,01 м – песок; 3,99–3,97 м – суглинок; 3,97–3,93 м – песок; 3,94–3,85 м – суглинок; 3,85–3,82 м – песок; 3,80–3,70 м – суглинок; 3,72–3,70 м – песок; 3,70–3,67 м – суглинок; 3,67–3,64 м – песок; 3,64–3,50 м – суглинок. В интервале 4,10–4,35 м – суглинок кремовато-сероватого цвета, ожелезнённый, с примазками органики в виде пятен. Включения конкреций на глубине 3,5 м.
4,27–4,50	Песок крупнозернистый, ожелезнённый, рыхлый светло-коричневого цвета, хорошо отсортированный, граница между выше- и нижележащими слоями почти горизонтальная, переход резкий.
4,50–4,60	Суглинки лёгкие, слоистые, ожелезнённые коричневатого, буроватого и сероватого цвета (мощность прослоек 1,05 см), плотного сложения; переход резкий, граница с вышележащим слоем чёткая тёмно-бурого цвета, верхние части слоя – суглинистые осадки.
4,60–4,70	Песок среднезернистый горизонтально-слоистый серовато-коричневого цвета, с прослоями ожелезнения, уплотнённый; переход ясный, граница ровная.
4,70–4,75	Суглинок пылеватый светло-каштанового цвета, ожелезнённый с прослоями песка. Сложение тонкодисперсное плотное, переход ясный, граница ровная.
4,75–6,62	Слоистая толща ожелезнённых среднезернистых песков: 4,75–4,80 м – песок среднезернистый ожелезнённый тёмно-коричневого цвета, рыхлого сложения; переход ясный, граница ровная. 4,85–4,95 м – песок мелкозернистый ожелезнённый красновато-бурого цвета, плотного сложения; переход ясный, граница с нижележащим горизонтом ровная. 4,95–5,00 м – песок мелкозернистый ожелезнённый красновато-бурого цвета, плотного сложения; переход ясный, граница ровная. 5,00–5,18 м – песок среднезернистый ожелезнённый, буровато-жёлтого цвета, плотного сложения; переход с вышележащим горизонтом ясный, граница ровная. 5,26–5,34 м – песок среднезернистый серовато-коричневого цвета. 5,34–5,50 м – песок среднезернистый серовато-коричневого цвета, с включением мелкой гальки. 5,50–5,66 м – песок среднезернистый палево-бурого цвета, с включением гальки среднего размера. 5,66–5,82 м – песок среднезернистый кремовато-бурого цвета, с включением гальки среднего размера. 5,82–5,98 м – песок среднезернистый серовато-коричневого цвета, с включением крупной гальки. 5,98–6,14 м – песок среднезернистый тёмного кремовато-коричневого цвета, с включением мелкой гальки. 6,14–6,28 м – песок среднезернистый тёмного палево-сероватого цвета, с включением мелкой гальки. 6,28–6,46 м – песок среднезернистый тёмного палево-сероватого цвета, с включением крупной гальки. 6,46–6,62 м – песок среднезернистый, тёмного палево-сероватого цвета, с включением крупной гальки.

Результаты анализов представлены на рис. 3.

Определение гранулометрического состава отложений производилось ситовым и пипеточным методом [1].

По гранулометрическому составу разрез отложений неоднороден. Отложения на гл. 5,50–6,62 м представлены фракциями среднего (24,5–39,4 %) и мелкого песка (29,6–41,1 %), менее многочисленны фракции крупного песка (6,4–14,9 %) и гравия (5,4–17,4 %), незначительную долю составляют фракции мелкой пыли (3,9–5,8 %), средней пыли (1,0–3,3 %) и крупной пыли (0,9–1,5 %).

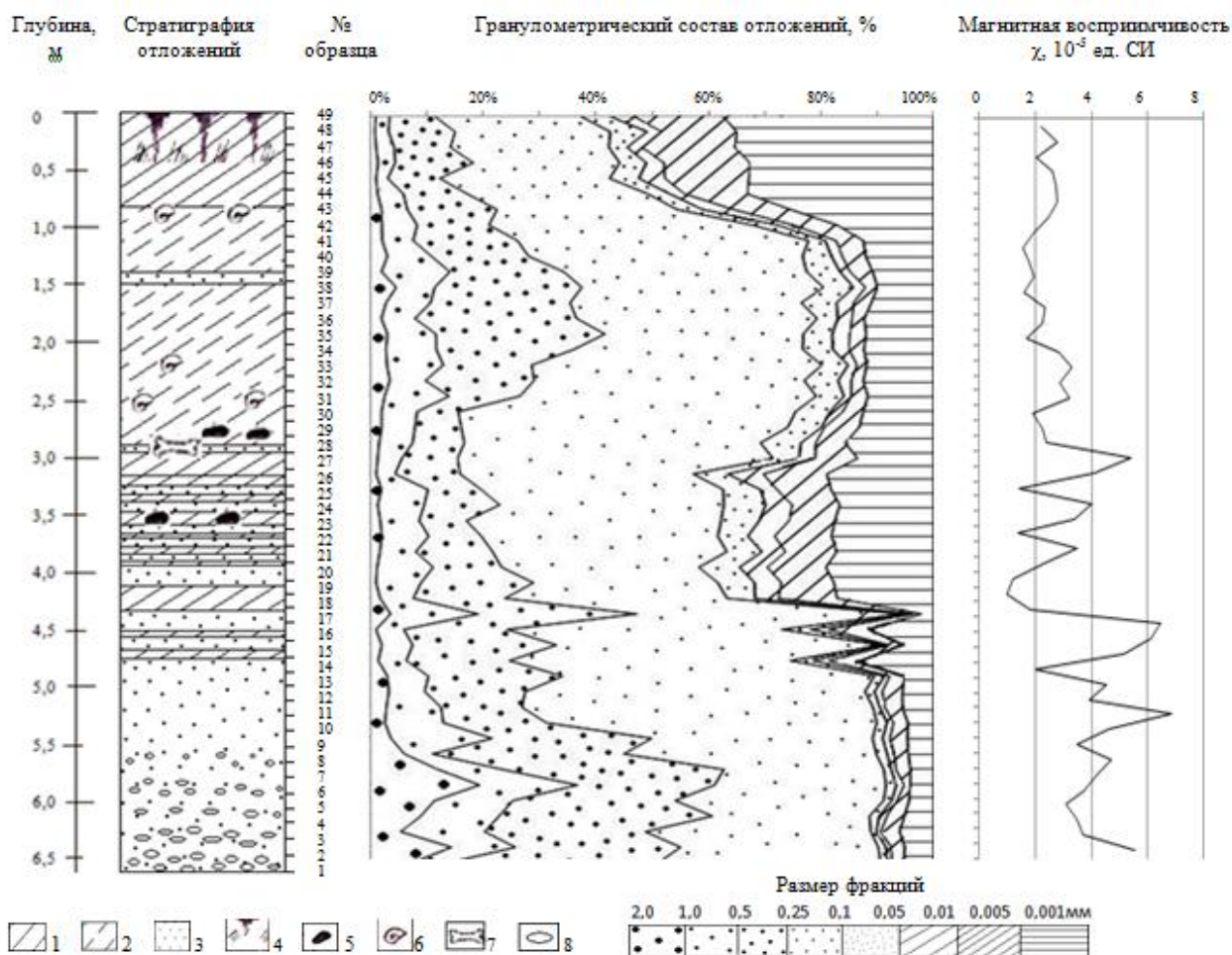


Рисунок 3 – Стратиграфия, гранулометрический состав и магнитная восприимчивость отложений 6–8-метровой террасы р. Ирба

1 – суглинок; 2 – супесь; 3 – песок; 4 – почвенно-растительный слой; 5 – конкреции; 6 – раковины моллюсков; 7 – костные остатки; 8 – галечник.

Отложения на гл. 5,26–5,50 м отличаются значительным содержанием фракций мелкого песка (41,1–46,8 %), доля гравия в их составе изменяется от 3,7 до 6,0 %; содержание среднего песка, крупного песка и фракций пыли не изменилось и составляет: средний песок – 28,4–34,0 %, крупный песок – 5,0–18 %, мелкая пыль – 4,3–4,5 %, средняя пыль – 2,4–3,0 % и крупная пыль до 1,4 %.

Отложения на гл. 5,18–4,35 м характеризуются повышением содержания фракций мелкого песка (47,9–63,6 %), снижением содержания фракций среднего песка (14,4–28,2 %) и гравия (1,0–3,6 %), содержание фракций крупного песка составляет 5,0–15,6 %, повышается содержание фракций пыли, но остаётся по-прежнему низким по сравнению с фракциями песка: мелкая (3,0–12,9 %), средняя (1,4–7,4 %) и крупная пыль (0,9–3,3 %).

В отложениях интервала 4,35–3,40 м увеличивается доля фракций пыли: мелкая (16,9–18,9 %), средняя (9,3–11,6 %) и крупная пыль (4,3–6,5 %); а содержание фракций физического песка (более 0,01 мм) снижается: мелкий песок (39,3–51,1 %), средний песок (7,5–20,0 %), крупный песок (3,4–10,0 %) и гравий (0,9–1,8 %).

Отличительными особенностями отложений на гл. 3,40–2,22 м от нижележащих горизонтов являются: повышение содержания фракций мелкого песка (54,1–66,0 %) и гравия (1,3–3,5 %), а также снижением фракций пыли: мелкая (11,5–15,5 %), средняя (1,7–7,4 %) и

крупная пыль (0,6–3,0 %). Содержание фракций среднего (7,4–19,4 %) и крупного песка (4,3–11,5 %) не изменяется.

Отложения на гл. 2,22–0,68 м отличаются от нижележащих следующим: понижением содержания фракций мелкого песка (40,4–54,7 %) и повышением содержания фракций среднего песка (12,8–30,0 %), а содержание остальных фракций не изменяется: фракции крупного песка составляют – 5,5–12,1 %, гравия – 2,0–4,6%, мелкой пыли – 10,6–16,9%, средней пыли – 2,0–7,7 % и крупной пыли – 1,9–3,2 %.

В верхней толще отложений (0,68–0,00 м) наблюдается равное соотношение фракций физического песка и физической глины. Содержание фракций более 0,05 мм снижается: фракции мелкого песка составляют 30,8–36,0 %, среднего песка – 8,0–16,0 %, крупного песка – 2,1–4,6 % и гравия – 0,8–2,0 %. Доля фракций пыли в отложениях увеличивается: фракции мелкой пыли составляют 25,2–37,3 %, средней пыли – 10,1–16,4 % и крупной пыли – 2,7–5,7 %.

Гранулометрический состав отложений (рис. 3) указывает на неоднородность строения отложений. Во всей толще отложений террасы р. Ирба преобладает фракция мелкого песка (0,25–0,05 мм), за исключением верхнего горизонта (0,00–0,50 м), где характерно равное соотношение фракций песка и фракций пыли. Содержание фракций физического песка (более 0,01 мм) в нижних горизонтах преобладает (до 90–94 %) в сравнении с фракциями физической глины (менее 0,01 мм), которые составляют до 6–10 %.

С целью более полного определения условий формирования отложений были произведены измерения их магнитной восприимчивости (χ , 10^{-5} ед. СИ) с помощью электронного прибора капметра КТ-5 [2]. Изучение магнитных свойств отложений позволяет судить об условиях образования и преобразования минералов и горных пород.

Магнитные свойства горных пород определяются, прежде всего, содержанием в них ферромагнитных минералов – магнетита, гематита, а также неметаллических ферромагнетиков – титаномагнетита, титаногематита и др. [3]. Осадочные породы являются практически немагнитными $< 50 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Наблюдения показывают, что повышенными значениями χ обладают фракции песка ($3,4–6,5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), которые преобладают в средних и нижних горизонтах (3,0–6,6 м), что свидетельствует о влиянии русловой деятельности на формирование отложений. Суглинки и супеси, сформированные на уровне 0,0–2,8 м, имеют низкие значения $\chi = 1–3 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, их формирование, возможно, происходило в условиях медленного течения потоков воды. Отложения на глубине от 0,0 до 2,5 м имеют более равномерную магнитную восприимчивость, что говорит о том, что накопление осадков происходило в однородных условиях (рис. 3).

Таким образом, толща осадков 6–8-метровой террасы р. Ирба формировалась в различных гидролого-климатических условиях. Нижние горизонты представлены русловым аллювием. Средние горизонты отложений (1,0–6,6 м) сложены песками и супесями (с прослоями суглинков в толще песков), что указывает на формирование отложений при неравномерном гидрологическом режиме. Верхний метровый горизонт представляют пылеватые суглинки и супеси, что свидетельствует о формировании осадков в условиях медленного поверхностного водотока или периодического иссушения и переувлажнения отложений на поверхности террасы.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
2. ГОСТ 24284-80 (СТ СЭВ 1459-78) Гравиразведка и магниторазведка. Термины и определение.
3. Конценебин Ю. П., Волкова Е. Н. Интерпретация магнитных аномалий. Саратов : Науч. кн., 2006.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ЛЁССОВО-ПОЧВЕННОЙ СЕРИИ ЦЕНТРА ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ, РОССИЯ

П. Г. Панин¹, П. И. Калинин², К. Г. Филиппова¹

¹Институт географии РАН,

Старомонетный пер. 29, 119017 Москва, Российская Федерация; granin@igras.ru

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская 2/2, 142290 Пущино, Российская Федерация; kalinin331@rambler.ru

В статье рассматривается верхнеплейстоценовая толща лёссово-почвенной серии, вскрытой в разрезе Фёдоровка Липецкой обл. В разрезе насчитывается не менее 3 уровней палеопочв, относящихся к МИС 3, и педоседимент палеопочвы МИС 5. На основании комплексного исследования физико-химических показателей с применением микроморфологического анализа, а также датировок, полученных ОСЛ и АМС методами, реконструирован генезис этих палеопочв и их хроностратиграфическое положение в четвертичном периоде.

Ключевые слова: Микроморфология; палеопочва; почва; комплексный анализ.

Восточно-Европейская равнина (ВЕР) является одной из самых обширных территорий распространения лёссов [7]. Здесь вскрываются лёссово-почвенные серии (ЛПС), исследование которых позволяет реконструировать почвенный покров в плейстоцене [6]. Строению ЛПС посвящено большое количество работ [1]. В основном, наиболее мощные лёссово-почвенные разрезы, не затронутые ледниковыми покровами, расположены в южной части ВЕР [5]. В центральных же районах, наоборот, после таяния ледника лёссовые толщи оказались преобразованы моренными и водно-ледниковыми отложениями, которые нарушают хроностратиграфическую последовательность палеопочвенных уровней [8]. Липецкая обл. – один из районов ВЕР, где четвертичные отложения представлены в основном донской морской. Согласно геологической карте четвертичных образований [3], лёссовый покров в области отсутствует, только на карте [2] обозначена прослойка лёссовидных суглинков с горизонтами погребённых почв, расположенная на границе с Орловской обл. В нашем исследовании приводятся данные по разрезу Фёдоровка, который вскрывает верхнеплейстоценовую лёссово-почвенную серию, подстилаемую песчаными отложениями.

Разрез Фёдоровка (N 52°39'11.57"; E 39°25'13.64") расположен в действующем карьере по добыче песка. В карьере также были вскрыты разрезы Тынковка и Копцевы Хутора, данные по которым не приводятся в этом докладе из-за малой мощности лёссов. При полевом описании разреза Фёдоровка был проведен отбор образцов с частотой каждые 5 см, кроме горизонтов Ap и AB современной почвы, где был отобран один и два образца соответственно. Образцы проанализированы в Лаборатории палеоархивов природной среды ИГРАН на следующие показатели: рН 1 : 2.5 (прибор HI 98127), гранулометрический состав (прибор Malvern Mastersizer 3000) и потери при прокаливании (ППП) при температурах 550 и 950 °С. Для изучения микростроения ЛПС отбирались штупы из всех слоёв с детальностью, позволяющей описать свойства почвенных горизонтов и вмещающих их отложений. Помимо этого, были взяты образцы на радиоуглеродное датирование (АМС) из современной почвы и уровней палеопочв, а также образцы на ОСЛ. АМС выполнено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН и центре изотопных исследований Университета Джорджии (США). ОСЛ датирование образцов проведен в Лаборатории ОСЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ».

Разрез Фёдоровка представлен ЛПС, состоящей из современной почвы – чернозём выщелоченный – и ряда палеопочв, относящихся к морской изотопной стадии (МИС) 3. Профиль современной почвы представлен следующими горизонтами: Ap (0,0–0,35/0,35 м – здесь

и далее через дробь обозначена мощность слоя) – тёмно-серый, зернистый, ранее использовался под пашню, из-за карьерных работ верхняя часть горизонта срезана; АВ (0,35–0,55/0,2 м) – бурый с сероватым оттенком, средний суглинок, обилие кротовин диаметром 10 × 20 см; В (0,55–0,70/0,15 м) – бурый, пористый, средний суглинок, кротовины, граница клиновидная. Возможно, этот горизонт является нижней частью брянской палеопочвы, но полученная АМС дата 7 303 cal BP указывает на его голоценовый возраст. Скорее всего, эта дата омоложена из-за современных почвенных процессов. ВСк (0,7–1,8/1,1 м) – лёссовый горизонт, палевого цвета, поры заполнены мицелярным карбонатом, есть карбонатные конкреции продолговатой формы, обильны современные и палеокротовины. Наличие карбонатов в горизонте ВСк связано не только с их современным выщелачиванием в нижележащие слои, но также с палеопедогенезом в лёссовом горизонте, что подтверждается высокими значениями ППП 950 °С (рис.) и рН на этом уровне. В этом горизонте получена ОСЛ дата 65 ± 5 тыс. по полевому шпату, что указывает на возраст отложений МИС 4. Между слоями 4 и 5 прослеживается тёмно-серый гумусированный прослой, который при морфологическом описании диагностирован нами как палеокротовина. В этом слое получена АМС дата 27221 cal BP, относящая её к брянскому интервалу. Скорее всего, гумусированные горизонты брянской палеопочвы были эродированы, и их материал сохранился только в кротовинах.

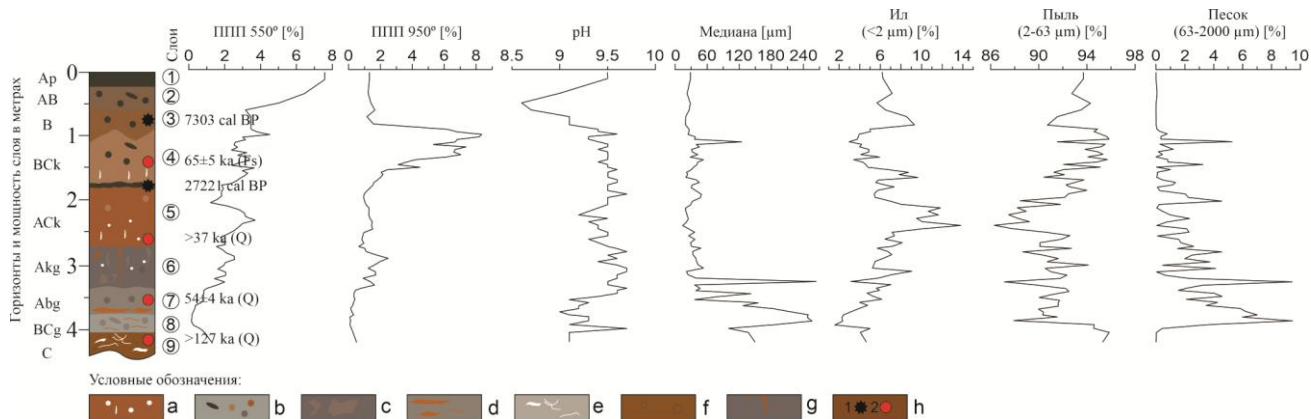


Рисунок – Строение ЛПС разреза Фёдоровка

Условные обозначения: а – карбонатные новообразования, b – кротовины, с – опесчаненные линзы, d – железистые подтеки, e – белесый песок, f – включения гальки, g - криогенные клинья и трещины, h – места отбора проб на АМС (1) и ОСЛ датирование (2) (Q – кварц, Fs – полевой шпат)

Слой 5 (1,8–2,7/0,9 м) представлен бурым с красноватым оттенком пылеватым материалом, с включениями Fe-Mn примазок и вторичных карбонатных новообразований в виде мицелия и мелких конкреций. Слой переработан почвенными процессами. В расчистке Фёдоровка-2020 (материалы по этому разрезу в обработке, результаты сейчас не приводятся) в слое 5 фиксируются два палеопочвенных уровня, представленные гумусированными горизонтами. Наличие гумуса в слое 5 разреза Фёдоровка подтверждается высокими значениями ППП 550 °С (рис.), которые отражают наличие органического материала. На этом уровне также возрастает содержание илистой фракции. По данным микроморфологического анализа, в слое происходит увеличение песчанистой фракции в верхней части горизонта и её уменьшение в нижней. На графике песчаной фракции (рис.) видно пилообразное распределение по разрезу, что, скорее всего, связано с разными стадиями седиментации материала и палеопедогенеза. Тип микростроения горизонта чешуйчато-волоконистый и вокругскелетный.

Слои 6, 7 и 8 отнесены нами к оглеёной палеопочве. Её профиль Akg-ABg-BCg-C. Гор. Akg (2,7–3,35/0,65 м) – серый с буроватым оттенком, слабопористый, включения мицелярного карбоната и конкреций округлой формы, есть линзы песка, обильны круглые кротовины

диаметром 10×10 см, их заполнитель светло-бурый песок, часть кротовин заполнена материалом из слоя 5. Горизонт пронизан трещинами, выходящими из вышележащего слоя 5, шириной 3-5 см, материал некоторых трещин вскипает. В горизонте Акg значения ППП высокие, что указывает на гумусово-аккумулятивные процессы и окисление слоя. Из-за окисленных процессов в горизонте фиксируется накопление илистой фракции (рис.). Тип микростроения глинистого вещества в основном вокругскелетный, встречается перекрестно-волоконистый, в порах видны карбонатные кутаны.

Гор. АВg (3,35–3,70/0,35 м) – палевый с сероватым оттенком песок, обильны палеокротовины, заполненные материалом из слоя 6 (гор. Акg). В микростроении видны кутаны гумусово-глинистого состава, что не характерно для палеопочв брянского интервала. Возможно, кутаны сформированы в период почвообразования палеопочвы слоя 5, т. к. первоначально глинистый материал выявлен в её микростроении, а в процессе педогенеза глина могла проникать в нижележащие слои 6 и 7. Что маловероятно, т. к. в слое 6 мощностью 0,65 м гумусово-глинистые кутаны не обнаружены. Полученная в этом слое ОСЛ дата 54 ± 4 тыс. лет указывает на возраст отложений МИС 3, что не соответствует вышележащей дате 65 ± 5 тыс. лет, полученной в слое 4. Возможно, инверсия дат связана с интенсивной биогенной переработкой ЛПС и заносом исследуемого материала в нижележащие слои. Как видно на рис. 1 в слое 9 полученная дата более 127 000 лет может относить отложения слоёв 6 и 7 к мезинскому педокомплексу (МИС 5). В микростроении салынской межледниковой палеопочвы (МИС 5e) этого педокомплекса ранее были зафиксированы кутаны глинистого состава [6]. Скорее всего, слой 7 является остатком палеопочвы микулинского межледниковья (МИС 5e), на профиле которой сформировалась палеопочва брянского интерстадиала. Подтверждением данной гипотезы может послужить наличие глинистого материала в слое 8 (гор. ВСg), заполняющего мелкие поры целиком. Слой 8 мощностью 0,35 м представлен белесоватым песком с сизоватым оттенком, в котором также видны крупные кротовины.

Таким образом, в ЛПС разреза Фёдоровка можно выделить три палеопочвы, относящиеся к МИС 3, профили которых были эродированы. В их почвообразовании преобладали гумусово-аккумулятивные процессы и элювиально-иллювиальное распределение карбонатов, наличие большого количества кротовин указывает на степной тип развития этих палеопочв. Т. Д. Морозова отмечала [4], что для палеопочв брянского интервала из-за мерзлотных процессов в микростроении образуется большое количество агрегатов ооидов. Такие агрегаты мы не обнаружили, но кольцевое направление кварцевых зёрен во внутривершинной массе может указывать на криогенез.

По результатам нашего исследования можно утверждать, что ЛПС разреза Фёдоровка образовалась в верхнем плейстоцене, в её состав входят не менее 3 палеопочв брянского интервала МИС 3. Возможно, нижележащая палеопочва сформирована на отложениях мезинского педокомплекса (МИС 5). Наличие красного оттенка слоя 5 и его опесчаненность может служить подтверждением локального эолового переноса материала с поверхности красноватой донской морены.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №18-04-00145, 18-05-00869 и по теме Госзадания № 0148-2019-0005.

Библиографические ссылки

1. Величко А. А. (отв. ред.). Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет. Атлас-монография «Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен – голоцен – элементы прогноза». Вып. II. Общая палеогеография. М. : ГЕОС, 2002.
2. Сычкин Н. И. (гл. ред.). Геологическая карта четвертичных отложений Липецкой области. Масштаб 1 : 500 000. МПР РФ Центр. регион. геол. центр, 1998.

3. Сычкин Н. И. (гл. ред.). Геологическая карта четвертичных образований ЦФО Липецкой области. Масштаб 1 : 500 000. МПР РФ Центр. регион. геол. центр, 1998–2001 [Электрон. ресурс]. URL: https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/cfo/lipetskaya_obl/26_Lipetsk_geolQ.jpg (дата обращения: 02.10.2020).

4. Морозова Т. Д. Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене. М. : Наука, 1981.

5. Panin P. G., Timireva S. N., Morozova T. D., Kononov Yu. M., Velichko A. A. Morphology and micromorphology of the loess-paleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1 – MIS 17) // Catena. 2018. Vol. 168. P. 79–101 [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.032> (date of access: 02.10.2020).

6. Panin P. G., Timireva S. N., Morozova T. D., Velichko A. A. Micromorphology of the Late and Middle Pleistocene paleosols of the central East European Plain // Geography, Environment, Sustainability. 2019. Vol. 12, N 1. P. 34–62 [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-32> (date of access: 02.10.2020).

7. Velichko A. A. Loess-paleosol formation on the Russian Plain // Quaternary Int. 1990. N 7–8. P. 103–114.

8. Velichko A. A., Faustova M. A., Pisareva V. V., Gribchenko Yu. N., Sudakova N. G., Lavrentiev N. V. Chap. 26 – Glaciations of the East European Plain: Distribution and Chronology / In: Ehlers J., Gibbard P. L., Hughes P. D. (Eds.) // Developments in Quaternary Sciences. 2011. Vol. 15. P. 337–359.

УДК 556(985)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

С. К. Мустафин¹, А. Н. Трифионов², К. К. Стручков³

¹Башкирский государственный университет, географический факультет, ул. Карла Маркса 3/4, 450008 Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация; sabir.mustafin@yandex.ru

²Ленинградский государственный университет, факультет естествознания, географии и туризма, Петербургское ш. 10, 196605 Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация; tan-geo@mail.ru

³Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, геологоразведочный факультет, ул. Кулаковского 50, 677000 Якутск; kk.struchkov@s-vfu.ru

Проведён анализ современного состояния обеспечения качественной питьевой водой населения Арктической зоны Российской Федерации (РФ).

Показано, что эффективное комплексное решение проблемы обеспечения качественной питьевой водой населения Арктической зоны может быть достигнуто при реализации стратегических мероприятий федерального проекта «Чистая вода» национального проекта «Экология».

Ключевые слова: Арктическая зона, качественная питьевая вода, население.

Российская Федерация (РФ) входит в группу государств мира, наиболее обеспеченных водными ресурсами, которые на её территории составляют 10 % мирового речного стока (4,3 тыс. км³/год); ресурсный потенциал подземных вод составляет почти 400 км³/год. Обеспеченность водными ресурсами составляет 30,2 тыс. м³/(чел. × год).

Вместе с тем, запасы подземных вод, пригодных для питьевого и хозяйственно-бытового использования, производственно-технического водоснабжения, орошения земель и обводнения пастбищ, составляющие порядка 34 км³/год, характеризуются весьма неравномерным распределением.

Общий объём забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных объектов РФ составляет 80 км³/год.

В РФ в 2019 г. питьевой водой из нецентрализованных источников водоснабжения пользовались 8,421 млн чел., из которых сельских жителей более 6,641 млн чел, городских –

порядка 1,779 млн чел. За период 2012–2019 гг. на 3,181 млн чел. увеличилась численность населения, обеспеченного питьевой водой из систем нецентрализованного водоснабжения и на 2,39 %, сократилась доля источников, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Ассоциированная заболеваемость, связанная некачественной питьевой водой, в 2019 г. формировалась на территории 83 субъектов Российской Федерации. Показатель дополнительных случаев заболеваемости находился в диапазоне 133,3–5 705,2 дополнительных случаев на 100 тыс. чел населения [6].

В рамках национального проекта «Экология» с 2018 по 2024 гг. реализуется федеральный проект «Чистая вода».

Особое значение имеет обеспечение качественной питьевой водой населения и работников предприятий арктической зоны РФ, представленных преимущественно объектами недропользования (рис.).



Рисунок – Схема размещения территорий, относящихся к Арктической зоне РФ [6]

О динамике изменения показателей обеспеченности качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения населения арктической зоны РФ можно судить по данным федерального проекта «Чистая вода» (табл.) [6].

Из данных табл. следует, что наиболее остро вопрос обеспечения населения качественной питьевой водой стоит в Чукотском и Ненецком автономных округах (АО), Республике Саха (Якутия), Архангельской обл.

В 8 населённых пунктах Чукотского АО для хозяйственно-питьевых нужд используется привозная вода водоёмов I категории (озёр, рек, ручьёв); доставка производится автоцистер-

нами без очистки, обеззараживания, нерегулярной дезинфекции. Превышение гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям 2019 г. составило 44,3 %.

Для хозяйственно-питьевых целей в зимний период население вынуждено заготавливать и подвозить пресный лёд.

Не обеспечена поставка бутилированной воды для питья и приготовления пищи в детские учреждения населённых пунктов, обеспечивающихся привозной питьевой водой и льдом [4].

Таблица – Доля населения субъектов Арктической зоны РФ, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, % (федеральный проект «Чистая вода» национального проекта «Экология»)

Субъект Арктической зоны РФ	2018	2020	2024
Мурманская обл.	99,7	99,7	100,0
Республика Карелия	75,0	75,3	84,8
Архангельская обл.	72,0	72,4	82,9
Ненецкий АО	51,4	52,5	83,8
Ямало-Ненецкий АО	87,0	87,1	89,7
Красноярский край	88,5	88,6	92,9
Республика Саха (Якутия)	59,8	60,3	75,8
Чукотский АО	74,6	75,5	100,0

На территории Чукотского АО питьевая вода централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения не соответствует гигиеническим нормативам по органолептическим показателям (мутность, цветность), обобщённому показателю (рН) и содержанию Fe с превышением ПДК [4].

В Республике Саха (Якутия) по данным лабораторного мониторинга за 2019 г. было обеспечено качественной питьевой водой 66 % населения республики или 638 436 чел.; некачественной водой – 29,1 % (281 904 чел.); из 123 подземных источников 45 (36,5 %) не отвечали гигиеническим требованиям.

Хозяйствующими субъектами Республики Саха (Якутия) не организована системная работа по проектированию и обустройству зон санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Основными причинами неудовлетворительного состояния питьевой воды в Республике Саха (Якутия) являются: 1) природные факторы (цветность, мутность); 2) отсутствие или ненадлежащее состояние зон санитарной охраны; 3) отсутствие очистных сооружений, устаревшие технологии водоподготовки; 4) низкое санитарно-техническое состояние сетей и сооружений [2].

Для Ненецкого АО водные ресурсы являются основой жизни и деятельности населения, проживающего на его территории.

В пределах округа протекает около 2 000 водотоков различной протяжённости, насчитывается более 160 000 озёр и искусственных водоёмов, общей площадью 6 200 км². Территория характеризуется значительной заболоченностью.

Доля населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, на конец 2019 г. составила 53,6 %.

Доля городского населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, в 2019 г. составила 67,3 %.

Обеспечено питьевым водоснабжением 98,6 % (43 222 чел.) населения Ненецкого АО. Качественной питьевой водой обеспечено 71,8 %, некачественной – 24,1 % населения [3].

Высокие показатели цветности, содержание Fe (до 7 ПДК), содержание аммиачного азота, нитратов (до 2 ПДК), колеблющиеся по сезонам года, обусловлены природным происхождением, т. к. в целях водоснабжения используется современный аллювиальный незащищённый горизонт.

Нецентрализованным водоснабжением обеспечено 22,8 % населения.

Не имеет питьевого водоснабжения население сельской местности Заполярного района при отсутствии подземных источников водоснабжения (левобережье р. Печоры, побережье Баренцева моря) [3].

Норма потребления воды на работника ООО «Башнефть-Полюс» при освоении нефтяных месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова составляет 25 л/сут. Хозяйственно-питьевое водоснабжение обеспечивается привозной водой, доставляемой из пос. Варандей (в пластиковых бутылках объёмом 10 л) [5].

В период 2017–2019 гг. удельный вес населения Архангельской обл., обеспеченного качественной питьевой водой, снизился на 13,2 % (с 76,6 до 63,4 %), а населения, обеспеченного некачественной питьевой водой, увеличился с 14,5 до 21,8 %. Численность населения, обеспеченного привозной водой, которая не исследовалась, в 2019 г. составила 2 325 чел. [1].

В течение 2019 г., в исследованных пробах воды пунктов хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования населения Ненецкого, Чукотского АО, Республики Саха (Якутия), Архангельской обл. возбудители патогенной микрофлоры не обнаружены.

Анализ состояния проблем обеспечения качественной питьевой водой населения Арктической зоны РФ показал, что разрешение может обеспечить федеральный проект «Чистая вода» национального проекта «Экология».

Библиографические ссылки

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области в 2019 году». Архангельск, 2020.
2. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации» по Республике Саха (Якутия) за 2019 год. Якутск, 2020.
3. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Ненецкого автономного округа в 2019 году». Нарьян-Мар, 2020.
4. Материалы государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Чукотском автономном округе в 2019 году». Анадырь, 2020.
5. Предварительные материалы оценки воздействия на окружающую среду к материалам обоснования инвестиций в обустройство месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова. ОАО АНК «Башнефть». Т. 2.1. СПб. : ООО «Центр экол. проектирования, инжиниринга и инноваций», 2011.
6. Проект Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году». М. : МПР, 2020.

УДК 622.324(985)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ НЕФТЕДОБЫЧИ В КРИОЛИТОЗОНЕ

С. К. Мустафин, Р. Р. Сафаргалина

Башкирский государственный университет, географический факультет, ул. Карла Маркса 3/4,
450008 Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация; sabir.mustafin@yandex.ru

Комплексные инженерно-геологические исследования многолетнемёрзлых грунтов площадей размещения нефтяных месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова включали термометрию, литоло-

гический и гранулометрический анализ, определение удельного электрического сопротивления, солёности и др. инженерно-геологических элементов.

Актуален мониторинг геологической среды объектов недропользования криолитозоны на всех стадиях их жизненного цикла.

Ключевые слова: криолитозона; Арктика; риски недропользования; многолетнемёрзлые грунты; инженерно-геологический мониторинг.

Криолитозона распространена на суше всех континентов Земли. Многолетнемёрзлые породы занимают площадь порядка 36 млн км², что составляет около 24 % поверхности суши; криолитозона покрывает около 70 % территории Российской Федерации, 50 % – Канады, 60 % – шт. Аляски (США) и др.

Криолитозона Арктики является объектом комплексного исследования и мониторинга многочисленных международных проектов научных проектов.

На рис. 1 показано расположение точек наблюдения, включённых в глобальную сеть мониторинга температуры мерзлоты, включая объекты России, в рамках проекта Thermal State of Permafrost в Северном полушарии [1].

Многолетнемёрзлые грунты (ММГ) развиты на всей территории континентальной части Арктики.

Поскольку успешность освоения минеральных месторождений Арктики во многом определяется специфическими инженерно-геологическими условиями криолитозоны, исследования и мониторинг её состояния и сохранности в условиях растущей техногенной нагрузки весьма актуальны.

Объекты изучения криолитозоны – месторождения им. Р. Требса и им. А. Титова (рис. 2) Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции – расположены в северной части Печорской низменности – регионе массивно-островного развития (25–75 % площади) толщ ММГ.

Актуальна проблема инженерно-геологического мониторинга ММГ криолитозоны Арктики – области повышенного интереса недропользователей.

Зональное распространение ММГ и формирование их температурного режима обусловлены региональными факторами: рельефом, составом приповерхностных (в слое с годовыми колебаниями температуры) грунтов, особенностями площадного распределения и плотности снежного покрова.

Многолетнемёрзлые биогенные, так и минеральные (супеси, суглинки, глины) грунты залегают под слоем сезонного протаивания. («сливающаяся мерзлота»); на гл. 10,0 м средняя годовая температура грунтов составляет –2,9 °С. Криогенное строение и льдистость эпигенетически сформировавшихся ММГ объектов исследования определяются литологическим составом, исходной влажностью перед промерзанием и условиями промерзания [2].

Сезонное и многолетнее пучение, термокарст, термоэрозия, криогенное растрескивание, вымораживание каменного материала, солифлюкция, наледообразование обуславливают риски недропользования в криолитозоне.

Процесс сезонного оттаивания грунтов начинается в первой декаде июня и заканчивается, как правило, в сентябре. Сезонное промерзание грунтов начинается в первой декаде октября; в январе-феврале на участках «сливающейся мерзлоты» происходит смыкание промерзающего слоя с ММГ, в пределах таликов промерзание заканчивается к маю. Максимальные глубины сезонно-талого (СТС) и сезонно-мёрзлого (СМС) слоёв характерны для песчаных и песчано-суглинистых грунтов составляя, в основном, около 1,5 м, достигая в отдельных случаях гл. 2,0 м.

Криолитозона изучалась по замерам температур ММГ в скважинах.

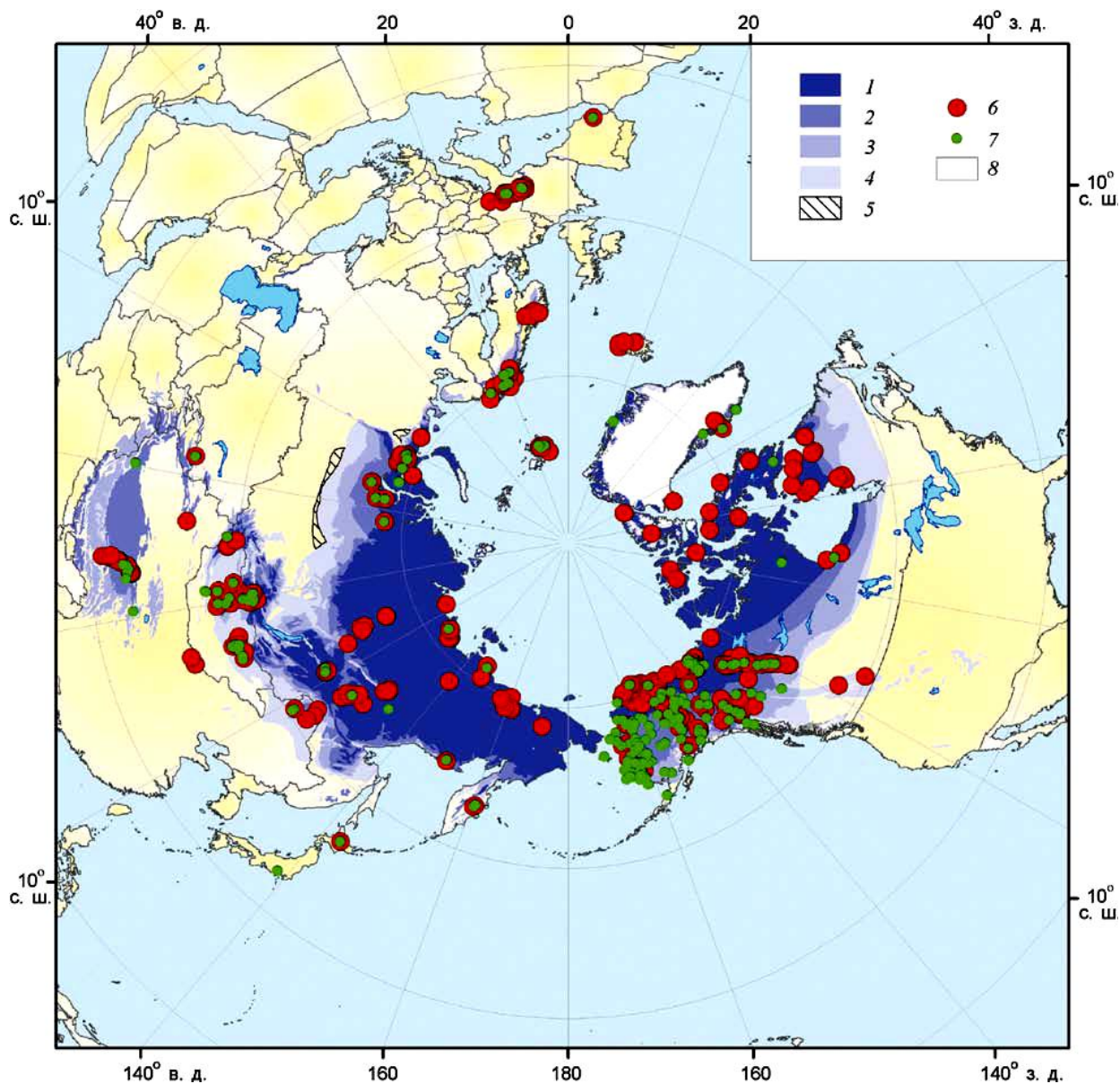


Рисунок 1 – Расположение точек наблюдения, включенных в глобальную сеть мониторинга температуры мерзлоты в рамках проекта Thermal State of Permafrost в Северном полушарии [1]
Мерзлота: сплошная (1), прерывистая (2), островная (3), редкоостровная (4), реликтовая (5). *Скважины*: глубокая (6), мелкая (7), лёд (8) [1].

Средняя годовая температура грунтов месторождения им. Р. Требса изменяется от $-1,4$ до $-2,7$ °C, среднее значение составляет $-2,04$ °C.

Средняя годовая температура грунтов месторождения им. А. Титова (на гл. 10,0 м) изменяется от $-0,1$ до $-2,2$ °C, среднее значение составляет $-1,4$ °C.

Исследованные ММГ месторождения им. Требса обладают относительно более низкой температурой, что обусловлено более северным расположением.

Полевые геофизические методы исследования ММГ широко применяются при инженерно-геологических исследованиях объектов криолитозоны и позволяют решать следующие задачи: картирование мёрзлых и талых отложений; расчленение мёрзлых и талых горных пород по глубине; изучение мерзлотных процессов и явлений.

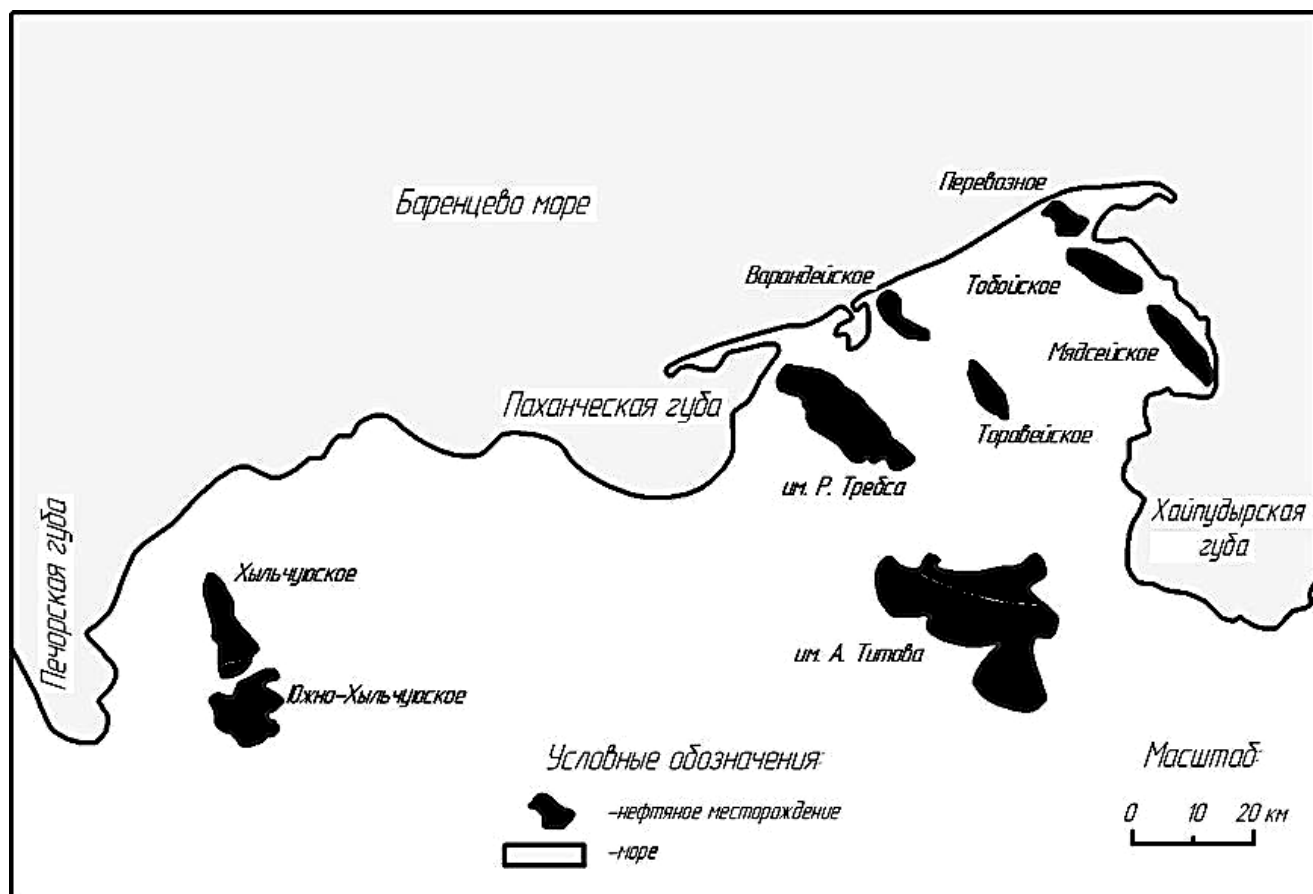


Рисунок 2 – Месторождения углеводородов прибрежной зоны юго-восточной части Баренцева моря

Для районов распространения ММГ и льдов характерны особенные типы мерзлотно-геофизических разрезов, что обусловлено физическими свойствами горных пород при отрицательных температурах.

Результаты исследования удельного электрического сопротивления (УЭС) ММГ различных инженерно-геологических элементов (ИГЭ) позволили (табл.): установить положение в разрезе верхней границы развития ММГ; определить значения величин удельного электрического сопротивления для различных ИГЭ изученных разрезов ММГ объектов криолитозоны; уточнить границы развития талых комплексов, как в плане, так и на глубину.

Полевые наблюдения проводились по методике вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) методом статического зондирования.

Результаты анализа водных вытяжек показали, что ледниково-морские пески являются среднесолёнными и слабозолёнными, супеси, суглинки и глины – слабозолёнными, ледниковые отложения – незолёнными, многолетнемёрзлые пески мелкие – слабозолёнными с морским типом засоления. Степени засоленности ММГ обоих месторождений находятся в пределах одного диапазона – $D_{sal} = 0,070\text{--}0,332\%$, причём для основной части грунтов засоленность определяется в диапазоне до $D_{sal} = 0,180\%$ (рис. 3).

При строительстве и эксплуатации объектов нефтедобычи на территориях криолитозоны, происходит изменение температуры ММГ, что ведёт в свою очередь к изменению их физико-механических свойств и снижению несущей способности основания.

В связи с этим в криолитозоне особое значение приобретает определение физико-механических характеристик и температуры ММГ как в полевых, так и в лабораторных усло-

виях на этапе проведения инженерно-геологических изысканий, для дальнейшего проектирования и мониторинга объектов.

Промышленное освоение данных месторождений началась сравнительно недавно и выполнение инженерно-геологических исследований в криолитозоне закладывает надёжный фундамент на весь срок эксплуатации объектов нефтедобычи.

Таблица – Обобщённые данные об изменении УЭС ММГ объектов исследования, Ом · м

ИГЭ	Месторождения	
	им. Р. Требса	им. А. Титова
Глина мёрзлая	30–50	30–45
Глина талая	20–30	10–20
Суглинки высокольдистые	190–380	200–400
Суглинки льдистые	100–200	100–200
Суглинки слабольдистые	55–85	60–90
Суглинки талые	20–51	30–50
Супесь льдистая	280–390	300–400
Супесь слабольдистая	200–290	200–290
Супесь талая	100–200	100–200
Песок слабольдистый	500–1 500	100–1 500
Песок талый	300–600	300–600
Торф мёрзлый	800–1 500	800–900
Торф талый	19–30	40–100
Гравийный грунт слабольдистый	900–1 900	1 600–1 900
Гравийный грунт талый	300–500	300–500
Лёд	2 500–3 500	2 000–4 000

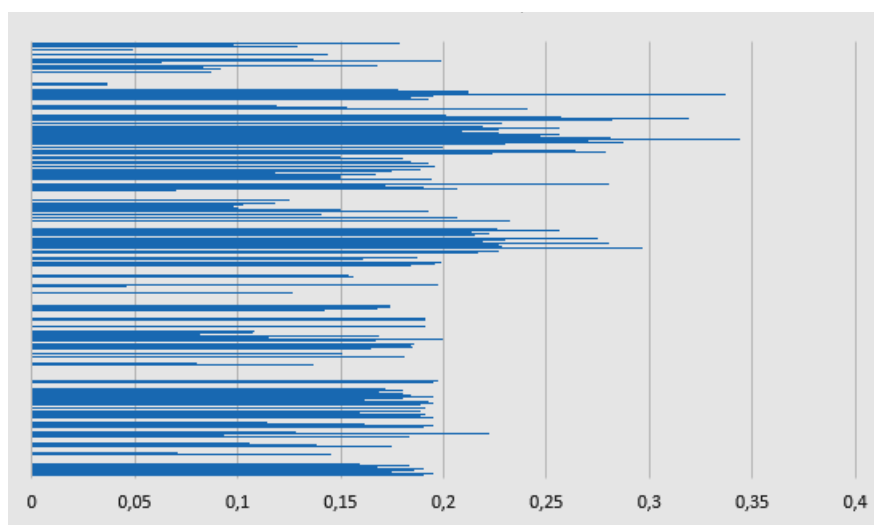


Рисунок 3 – Степени засоленности D_{sal} ММГ территории исследования, %

По условиям залегания относительно толщ ММГ в пределах исследуемой территории выделяются две категории грунтовых вод, циркулирующих в верхней части разреза четвертичных песчано-суглинистых осадков: надмерзлотные грунтовые воды слоя сезонного оттаивания; надмерзлотные грунтовые воды в таликах радиационно-теплового генезиса, приуроченных к межблочным понижениям, полосам стока, долинам водотоков.

Результаты комплексного исследования ММГ будут использованы для обеспечения снижения инженерно-геологических рисков недропользования в условиях криолитозоны, как

важного элемента системы нефтегазового инжиниринга объектов арктической зоны РФ. Инженерно-геологический мониторинг необходим для управления рисками всех стадий жизненного цикла.

Библиографические ссылки

1. Анисимов О. А., Анохин Ю. А., Лавров С. А., Малкова Г. В. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем // Континент. многолетняя мерзлота. М. : Росгидромет, 2012. С. 301–359.

2. Предварительные материалы оценки воздействия на окружающую среду к материалам обоснования инвестиций в обустройство месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова. ОАО АНК «Башнефть». Т. 2.1. СПб. : ООО «Центр экол. проектирования, инжиниринга и инноваций», 2011.

УДК 551.31

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАМЯТНИКИ ПРИРОДЫ КАК БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА РЕГИОНОВ

С. К. Мустафин¹, А. Н. Трифонов², К. К. Стручков³

¹Башкирский государственный университет, географический факультет, ул. Карла Маркса 3/4, 450008 Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация; sabir.mustafin@yandex.ru

²Ленинградский государственный университет, факультет естествознания, географии и туризма, Петербургское ш. 10, 196605 Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация; tan-geo@mail.ru

³Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, геологоразведочный факультет, ул. Кулаковского 50, 677000 Якутск; kk.struchkov@s-vfu.ru

Геологические памятники природы Ленинградской обл., Республики Саха (Якутия), Республики Башкортостан рассматриваются как базовые системообразующие элементы экологического каркаса регионов. Обоснована актуальность изучения геологических памятников природы для экологической подготовки профессиональных природопользователей.

Ключевые слова: геологический памятник природы; экологический каркас региона.

Геологические памятники природы (ГПП) являются системообразующими элементами структуры экологического каркаса регионов (ЭКР).

По состоянию на 2017 г. в список особо охраняемых природных территорий (ООПТ), составляющих экологический каркас Ленинградской обл., включены 52 комплекса общей площадью 5 700 км² (6 % территории области), в т. ч.: 1 заповедник, 1 природный парк (включающий 7 резерватов), 27 заказников и 17 памятников природы.

ГПП Ленинградской обл. являются 6 объектов: 1) обнажения девона и штольни на р. Оредеж у д. Борщево; 2) обнажения девона на р. Оредеж у пос. Белогорка; 3) обнажения девона на р. Оредеж у пос. Ям-Тёсово; 4) обнажения девонских и ордовикских пород на р. Саба; 5) о. Густой; 6) д. Щелейки. К геолого-гидрологическим памятникам природы отнесены: 1) оз. Красное; 2) радоновые источники и озёра в пос. Лопухинка [1].

На р. Саба обнажаются, содержащие кости рыб, красноцветные девонские песчаники, под которыми залегает «везенбергский уступ», – результат додевонской эрозии. Породы везенбергского горизонта верхнего ордовика в пределах Ленинградской обл. встречены лишь на территории Сланцевского и Киришского р-нов.

Между дд. Гимрека и Щелейки находится геологический памятник природы, представленный массивом чёрных габбро-норитов, возвышающимся до 100 м над уровнем Онежского

озера. Массив имеет позднепротерозойский возраст и разбит трещинами на большие блоки, образующие ряд ступеней.

Геолого-гидрологический памятник природы – радоновое озеро около д. Лопухинка отличается небесно-голубым цветом и высокой прозрачностью воды, в которой нет планктона, а также полным отсутствием водной (водоросли) и береговой (камыши) растительности.

Дудергофские высоты (рис. 1), расположенные в 30 км от исторического центра Санкт-Петербурга, объявлены памятником природы с целью сохранения широколиственного леса с обилием дубравных видов; комплекс отличают специфические геологические, геоморфологические, зоологические черты [4].

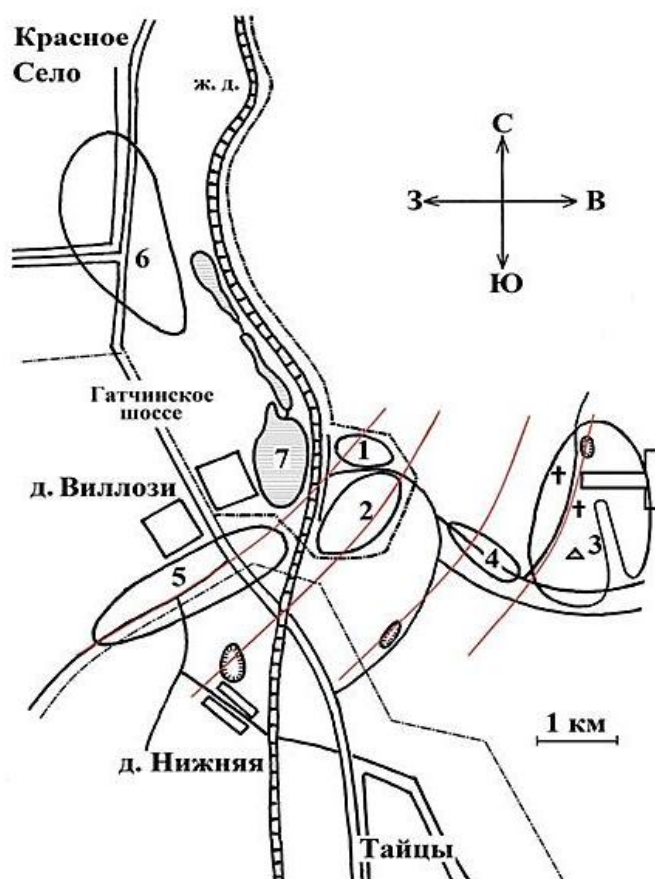


Рисунок 1 – Схема Дудергофских высот и окрестностей [4]

1 – Воронья гора; 2 – Ореховая гора; 3 – Кирхгофская гора; 4 – Переключья гряда;
5 – Кавелахтинская гряда; 6 – Красносельская возвышенность; 7 – Дудергофское озеро.

В геологическом строении Дудергофских высот принимают участие четвертичные отложения специфической природы; преобладают ледниковые отложения – морена, в составе которой перемешаны кембрийские глины, обломки гранитов и щебень известняков.

Рельф высот необычен для региона Ленинградской обл. Преобладают склоны крутизной 15–35°, что обуславливает развитие эрозионных процессов плоскостного смыва. Неоднороден и почвенный покров Дудергофских высот; почвообразующие породы неоднократно могут изменяться в составе в интервале десятков метров.

Происхождение высот дискутируется более 150 лет; превалирует гипотеза гляциотектонической природы Дудергофских и Кирхгофских высот [1].

Время образования Дудергофской морфоструктуры относится к позднему плейстоцену – раннему голоцену, исходя из очевидной молодости рельефа при чрезвычайной дезинтегрированности пород, слагающих возвышенности [4].

Своеобразием геологического строения и почв объясняют значительные отличия современной растительности высот от южно-таёжных лесов Ленинградской обл. и сходство с растительностью районов, расположенных в сотнях километров южнее Санкт-Петербурга [1].

Река Оредеж у д. Белогорка вскрывает геологические обнажения песков и песчаников среднедевонского возраста в толще которых встречаются ископаемые остатки фауны древних палеозойских кистепёрых рыб, обладавших неокостеневшим внутренним скелетом.

Выходы среднедевонских песчаников и песков у пос. Белогорка являются геологическими реперами, для решения научных вопросов регионального геологического строения территории Ленинградской обл.

В нижнем течении р. Оредеж кварцевые пески и песчаники среднего девона отрабатывались штольнями с целью получения сырья для варки стекла.

В список *ГПП Республики Башкортостан* включены [2]: Красный ключ (один из крупнейших в мире по дебиту карстовых родников); Бурцевка (стратотип бурцевского горизонта артинского яруса перми); Камышенка-Дюртиули (разрез соликамского и шешминского горизонтов уфимского яруса перми); источник Кургазак (вода гидрокарбонатно-кальциево-магниева, радонсодержащая; используется в бальнеологических целях); гора Янган-Тау (непрерывно выделяются горячий пар и газы невыясненной природы, используется в бальнеологических целях; ведутся работы по созданию геопарка со статусом ЮНЕСКО); Аскынская ледяная пещера (заполнена ледником мощностью в несколько метров; природа не установлена); разрез по р. Лаклы (стратотип башкирского яруса перми); гора Шах-Тау (стратотип стерлитамакского горизонта сакмарского яруса перми); карстовая пещера Победа (Киндерлинская) (геоморфологический памятник); разрез по р. Аскын (наиболее полный разрез башкирского яруса горной части Республики Башкортостан); Ассинские минеральные источники (17 родников, в 14 из которых вода минерализована); гора Тра-Тау (стратотип шиханского горизонта ассельского яруса перми); разрез по р. Зилим (топотипический разрез башкирского яруса карбона); Кутукская пещера (двухэтажная карстовая полость длиной 9 860 м и амплитудой 130 м); карстовая пещера Шульган-Таш (Капова) (объект Уральского очага палеолитической культуры).

ГПП, входящие в экологический каркас регионов рекомендуется использовать в учебном процессе высшей школы для профессиональной подготовки природопользователей как эталоны получения теоретических знаний и приобретения практических навыков при освоении курса «Экологический аудит территории».

ГПП могут использоваться в научных, эколого-просветительских и познавательных, рекреационных, культурных, природоохранных целях.



Рисунок 2 – Копии наскальных рисунков эпохи палеолита (Шульган-Таш) [2]

Карстовая пещера Шульган-Таш (Капова) находится на территории Бурзянского района Республики Башкортостан в 7 км от дер. Иргизлы. Название происходит от башкирских слов «шульган» – река и «таш» – камень. Район характеризуется сложным геологическим строением. Здесь развиты терригенно-карбонатные дислоцированные отложения силура, девона, карбона; общая мощность карбонатной части разреза достигает 2 000 м. Пещера имеет карстовую природу, заложена в толще известняков визейского яруса нижнего карбона и ориентирована вдоль оси Шульганташской антиклинали.

Объект получил известность благодаря петроглифам – наскальным рисункам первобытного человека периода палеолита, датируемым периодом от позднего солютре (18–15 тыс. лет до н. э.) до среднего мадлена (15–8 тыс. лет до н. э.) (рис. 2).

Большинство изображений выполнено минеральными красками, изготовленными из красной охры, чёрных угля и оксидов марганца. Уран-ториевое изотопное датирование показало, что возраст ранних петроглифов определяется величиной 36 400 лет. В 2012 г. международным Комитетом Всемирного наследия ЮНЕСКО смешанный природно-культурный объект «Башкирский Урал – земля Урал-батыра», включающий пещеру «Шульган-Таш» и башкирский народный эпос «Урал-батыр», внесён в Предварительный список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. В настоящее время пещера Шульган-Таш является одним из кандидатов на получение статуса геопарка; продолжается работа по обеспечению требований, необходимых для включения наскальной живописи пещеры в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Согласно типового положения о памятниках природы (айылга мэнэлэрэ) Республики Саха (Якутия), утверждённого её Правительством (Постановление № 84 от 30.03.2017 г.), памятниками природы могут быть объявлены участки суши и водного пространства, а также одиночные природные объекты.



Рисунок 3 – Схема расположения природного парка «Ленские столбы» [3]

Природный парк «Ленские столбы» расположен на территории Хангаласского улуса (рис. 3) в 104 км от г. Покровска и занимает площадь 4 850 км²; на 36-й сессии Комитета по Всемирному наследию ЮНЕСКО в Санкт-Петербурге 2 июля 2012 г. объект по природным критериям был включён в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

В тектоническом отношении территория Ленских столбов относится к Сибирской платформе. Скальные образования, высота которых достигает до 100 метров, сложены известняками, образовавшимися в условиях раннекембрийского морского бассейна в интервале времени 560–540 млн лет назад. Образование самих Ленских столбов, как наблюдаемой сегодня формы рельефа, датируют периодом около 400 тыс. лет назад.

На территории парка, кроме «каменного леса» можно исследовать ряд уникальных объектов: развевающиеся пески-тукуланы с отдельными участками холодной северной песчаной пустыни; стоянку древнего человека в устье ручья Дириг-Юрях, где обнаружены каменные орудия труда (диригская культура) и погребения эпохи позднего неолита (ымыяхтахская культура, II тыс. до н. э.); специфические мерзлотные экосистемы; обнаружены окаменелые останки представителей древней фауны: мамонта, бизона, шерстистого носорога и др.

Широкий спектр ГПП включает объекты различных рангов [3]: Остров Большой Ляховский (местонахождение костных остатков плейстоценовых млекопитающих); Ойягосский яр (береговые пролива Лаптева – разрез плейстоцена с костями бизонов, овцебыков, мамонтов); Берелех (в урочище Угамыт крупнейшее в Российской Федерации скопление костных остатков мамонтовой фауны, шерстистых носорогов, лошадей, мелких хищников, птиц, рыб, насекомых; радиоуглеродный возраст 13–10 тыс. лет); кимберлитовая трубка «Обнажённая» (объект минералогического типа); разрез Некекит (парастратотип амгинского яруса кембрия, стратотип трилобитовых зон); Тас-Юрях (стратотип амгинского яруса); источник Суллар (питание – талики межмерзлотных и подмерзлотных горизонтов); оз. Юнугестях (круглогодичная полноводность и поверхностный сток); Мамонтова гора (комплекс среднемиоценовых растений и среднеплейстоценовых млекопитающих); источник Муостах (минерализация воды 115–120 мг/л); Суорболах (лектостратотип трилобитовой зоны амгинского яруса кембрия); Гора Красивая (р. Мая) (лектостратотип майского яруса кембрия); Еланское (стратотип верхней границы нижнего отдела кембрийской системы); Тит-Ары (стратотип границы ботомского и тойонского ярусов кембрия); р. Синяя (стратотип трилобитовых зон ботомского яруса кембрия); Улахан-Кыыры-Таас (стратотип трилобитовой зоны ботомского яруса кембрия); Кемпендяйские источники (надмерзлотные Cl-Na, Br- и B-содержащие рассолы (600 г/л) юрских отложений с дебитом 1–1,5 л/с); Кыыры-Таас (стратотип ботомского яруса, нижняя граница); Ленские столбы (стратотип трилобитовой зоны ботомского яруса кембрия; объект природного наследия ЮНЕСКО); Улахан-Сулугур (стратотип границы докембрия и кембрия); Журинский мыс (гипостратотип атдабанского яруса, археоциатовой зоны и трилобитовых зон); Аччагый-Кыыры-Таас (стратотип трилобитовой зоны Judomia и археоциатовых зон Pinus, Kokoulini, Lermontovae атдабанского яруса кембрия); Исить (гипостратотип томмотского яруса кембрия); Дворцы (стратотип томмотского яруса кембрия); месторождение чаройта «Сиреневый камень».

Постановлением Правительства Российской Федерации № 900 от 26.12.2001 г. впервые было установлено, что охрана геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое и иное значение, должна производиться в рамках ранее принятого Федерального закона «Об особо охраняемых территориях» (№33-ФЗ от 14.03.1995 г.). Как ООПТ, геологические объекты имеют федеральное, региональное и местное значение и охраняются законом на этих уровнях.

К геологическим объектам глобального ранга отнесены объекты, характеризующие общие закономерности развития планетарных оболочек и главнейших неоднородностей Земли, а также уникальные в глобальном масштабе. К геологическим объектам надрегионального

ранга отнесены объекты, отражающие закономерности развития отдельных материков, океанов, а также уникальные в надрегиональном масштабе [5].

Библиографические ссылки

1. Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга / Отв. ред. В. Н. Храмцов, Т. В. Ковалёва, Н. Ю. Нацваладзе. СПб., 2013. 176 с.

2. Республика Башкортостан. Геологические памятники природы России. М. : МПР РФ: ЦНИГР музей им. акад. Ф. Н. Чернышёва, 1998. С. 70–76.

3. Ленские столбы [Электрон. ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ленские столбы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ленские_столбы) (дата обращения: 2.01.2021).

4. *Никитин М. Ю.* О природе Дудергофских дислокаций // Отечеств. геоморфология, настоящее, будущее. XXX пленум Геоморфолог. комис. РАН. СПб., 2008. С. 314–317.

5. *Трифонов А. Н., Мустафин С. К., Стручков К. К.* Региональные геологические особенности объектов природного и культурного наследия России // Природ. и культур. наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие: Коллектив. моногр. по материалам VII Международ. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена. СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2018. С. 453–456.

ДОКЛАДЫ УЧЁНЫХ И УЧАЩИХСЯ УНИВЕРСИТЕТОВ БЕЛАРУСИ

УДК 550.814:553.98(476)

КОСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОЛОГИИ И СФЕРЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В. Н. Губин

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; vngubin@mail.ru

Спутниковые технологии играют важную роль в инновационном развитии региональной геологии и геологического образования. Анализ данных, полученных из космоса, совместно с геолого-геофизическими материалами имеет существенное значение при проведении геологосъёмочных работ и прогнозировании полезных ископаемых. В сфере образовательного процесса космическая информация способствует формированию у студентов и магистрантов современного уровня космогеологических знаний.

Ключевые слова: космическое зондирование Земли; региональная геология; Беларусь.

На современном этапе региональных геологических исследований (РГИ) Республики Беларусь и обеспечением геологоразведочной отрасли квалифицированными кадрами важную роль играют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Геологическое дешифрирование космических снимков (КС) в комплексе с геолого-геофизическими материалами позволяет выявить новые закономерности в строении платформенного чехла и консолидированной части земной коры, повысить надёжность прогноза на различные полезные ископаемые, а также оценить состояние геологической среды в условиях техногенеза [2–4]. В сфере университетского образования космическая информация широко используется в учебном процессе при подготовке геологов высшей квалификации.

Инновации в региональной геологии и геологическом образовании тесно связаны с данными ДЗЗ Белорусским космическим аппаратом (БКА), съёмочная аппаратура которого позволяет в панхроматическом режиме получать КС территории Беларуси с разрешением объектов на земной поверхности 2,1 м, а в мультиспектральном – с пространственным разрешением 10,5 м. Спектральный диапазон съёмки БКА охватывает как видимую часть спектра, так и ближний инфракрасный интервал электромагнитных волн. В РГИ и при подготовке специалистов в области геологии используются также КС со спутников «Канопус-В» «Ресурс-П» Sentinel-2В, Landsat-8 и SPOT-6,7 с пространственным разрешением от 30 до нескольких метров. В связи с решением геологических задач следует отметить широкий спектральный диапазон съёмки со спутников группы Sentinel-2В Европейского космического агентства, осуществляющих мультиспектральную съёмку в 13 каналах. Различные сочетания спектральных каналов обеспечивают отображение геологических объектов в морфологии рельефа земной поверхности, распределении растительных сообществ и в других природных индикаторах, что позволяет повысить информативность геоиндикационного дешифрирования КС.

При проведении РГИ и в образовательном процессе обращается внимание на методические подходы к геологической интерпретации данных ДЗЗ, заключающиеся в компьютерной обработке космической информации с использованием модулей ПО QGIS-GRASS, а также основанные на геоиндикационном дешифрировании КС. Специализированное программное обеспечение позволяет осуществлять классификацию космоизображений на области близкие

друг к другу по параметрам яркости, получаемых в различных спектральных каналах сенсора спутника. Автоматически выделяются границы областей путём сегментации растрового изображения с переводом его в векторный формат с полной геодезической привязкой. Конечный итог обработки – векторная карта выделенных на местности классов с возможностью пространственного совмещения с цифровой моделью рельефа и геолого-геофизической информацией. Получаемые векторные карты информативны для выделения геологических объектов, в том числе структурных форм земной коры, активных на неотектоническом этапе.

Геоиндикационное дешифрирование КС базируется на выявлении и идентификации ландшафтных индикаторов (геоиндикаторов) проявлений новейшей активизации разломной тектоники, блоковых и пликвативных форм земной коры, фиксируемых на КС в виде линейных и кольцевых структур. При этом устанавливаются корреляционные связи между ландшафтными особенностями земной поверхности, прежде всего, морфологией современного рельефа, и структурными элементами осадочного чехла и кристаллического фундамента. В основе метода лежит теоретическое положение о взаимосвязи природных компонентов земной поверхности с тектоно-геодинамическим режимом эволюции Земли в позднеолигоцен-четвертичное время. Чем выше степень унаследованности структур земной коры к новейшему структурному плану, тем более информативен геоиндикационный метод дешифрирования КС в геотектонике и геодинамике, определяющими геологическое строение регионов.

На основе комплексной интерпретации ДЗЗ из космоса и материалов геолого-геофизических съемок достигается возможность изучения геологического строения отдельных регионов Беларуси и конкретных площадей, перспективных в минерагеническом отношении. Анализ космической информации обеспечивает получение значительного объёма геологического материала на следующих стадиях проведения РГИ: 1 – региональные геолого-геофизические исследования масштаба 1 : 1 000 000 (1 : 500 000); 2 – региональные геологосъёмочные работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000); и 3 – региональные геологосъёмочные работы масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). При этом составляются космогеологические модели 2D и 3D, повышающие объективность геологических знаний о региональной структуре земной коры, новейшей геодинамике, закономерностях формирования и размещения месторождений полезных ископаемых. К основным задачам региональной геологии территории Беларуси на ближайшую перспективу относятся: обновление геологической съёмки масштаба 1 : 200 000, планомерное проведение геологосъёмочных работ масштаба 1 : 50 000 с общими поисками, составление и издание новых геологических карт масштаба 1 : 500 000 и 1 : 200 000.

Спутниковые информационные системы совместно с геолого-геофизическими исследованиями приобретают существенное значение для региональной геотектоники территории Беларуси и позволяют под несколько иным углом рассмотреть строение земной коры на разных уровнях её тектонической расслоенности. Наряду с известными ранее структурными формами космогеологическими методами устанавливаются кольцевые и линейные структуры земной коры, системы трещин ротационно-планетарной природы. Важную роль играет космическая информация в неогеодинимических реконструкциях и тектоническом картографировании.

Данные ДЗЗ в комплексе с геолого-геофизическими материалами повышают эффективность поисков залежей углеводородов (УВ). При этом большое внимание уделяется региональной оценке и локальному прогнозу нефтегазоносности, выявлению новых промышленных месторождений нефти [1, 2, 5, 6]. На современном этапе проведения геологоразведочных работ на нефть в пределах Припятского, Брестского и Оршанского осадочных бассейнов запада Русской плиты особую актуальность приобретает разработка технологии подготовки регионального прогноза нефтегазоносности территории на основе анализа данных ДЗЗ из космоса и геолого-геофизической информации. Важно также создание электронной базы геоданных включающей комплекс космоструктурных критериев нефтегазоносности и методику

прогноза нефтеперспективных участков с использованием программной обработки КС и материалов геолого-геофизических съёмок. В результате космоструктурного картирования в Припятском нефтегазоносном бассейне (НГБ) установлены закономерности пространственного распределения флюидопроводящих глубинных разломов и непосредственно примыкающих к ним кольцевых структур земной коры, обнаруживающих связь с зонами нефтегазонакопления, месторождениями нефти и потенциальными нефтегазоносными объектами. В позднеолигоцен-четвертичное время, как и на предшествующих этапах развития Припятского НГБ, высокой тектонической активностью отличались глубинные Северо- и Южно-Припятский суперрегиональные разломы, ограничивающие палеорифтовый бассейн, а также региональные разломы мантийного заложения: Речицко-Вишанский, Червонослободско-Малодушинский, Микашевичский, Лоевский и др., выраженные на КС в виде линеаментов (рис. 1). Мантийные разломы и приуроченные к ним кольцевые структуры определили геофлюидодинамические условия нефтегазообразования в Припятском НГБ.

В пределах Речицко-Вишанской зоны нефтегазонакопления, контролируемой одноименным разломом мантийного заложения, на Речицкой площади установлена кольцевая структура, отражающая в межсолевом комплексе верхнедевонской толщи осадочного чехла по поверхности задонского горизонта полуантиклиналь, вытянутую в субширотном направлении и ограниченную с юга и юго-запада зоной отсутствия межсолевых отложений (рис. 2, 3).

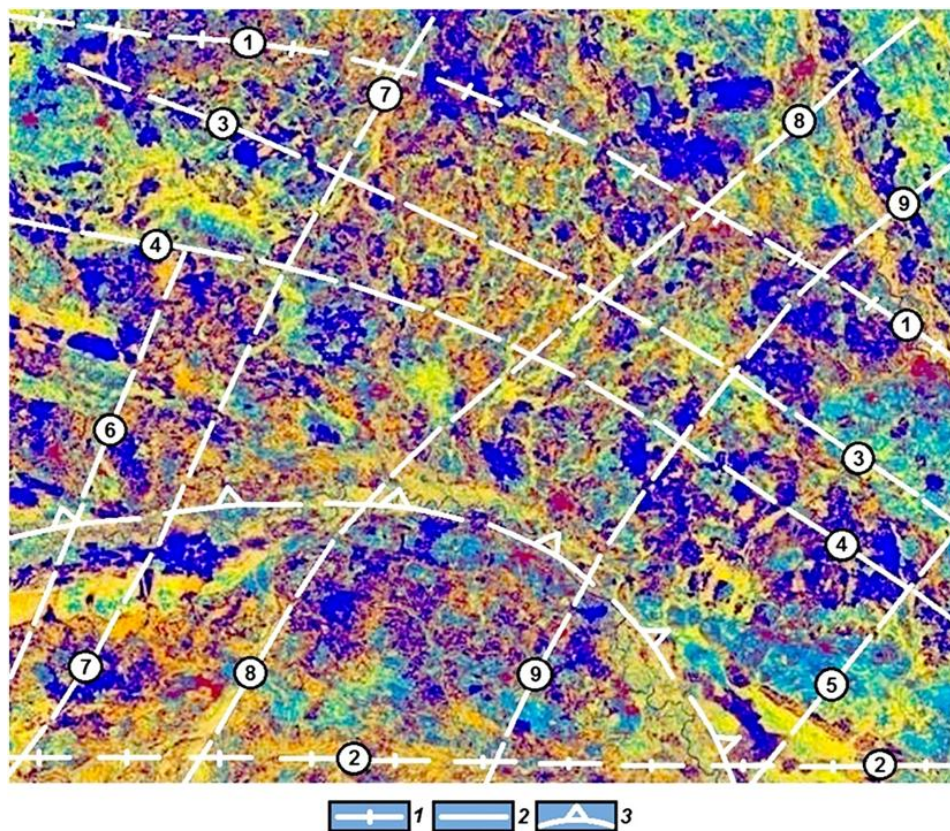


Рисунок 1 – Космоструктурная схема Припятского нефтегазоносного бассейна
 1, 2 – суперрегиональные (1) и региональные (2) линеаменты, отражающие неотектонически активные разломы; 3 – северный сегмент Полесской кольцевой структуры; разломы (цифры в кружках): 1 – Северо-Припятский; 2 – Южно-Припятский; 3 – Речицко-Вишанский; 4 – Червонослободско-Малодушинский; 5 – Лоевский; 6 – Микашевичский; 7 – Малыньско-Туровский; 8 – Пержанско-Симоновичский; 9 – Первомайско-Заозёрный.

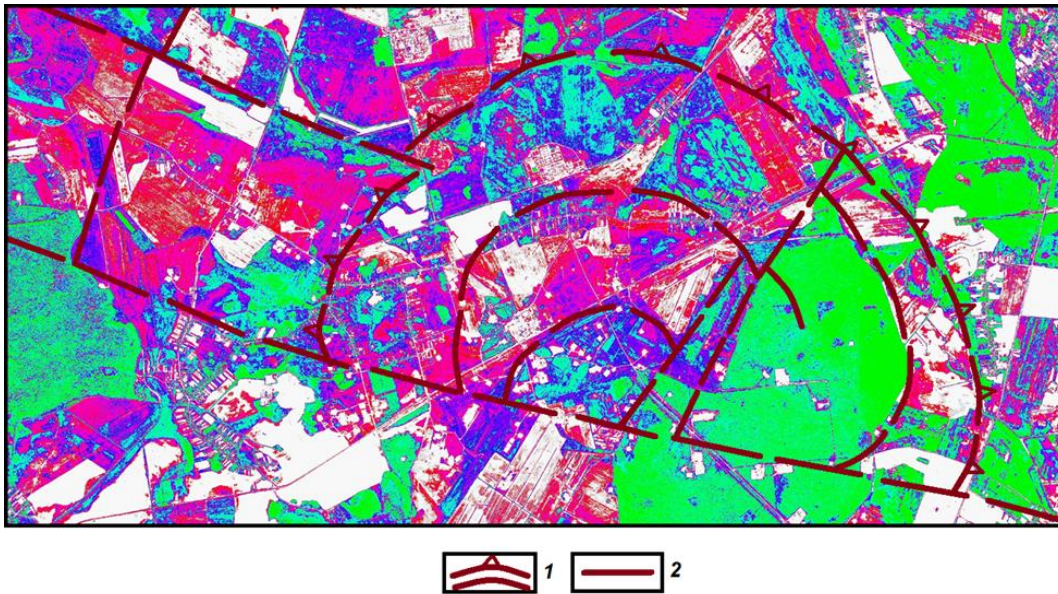


Рисунок 2 – Космоструктурная схема Речицкого месторождения нефти

1 – дугообразные линеаменты кольцевой структуры, 2 – линеаменты, отражающие разрывные нарушения и зоны трещиноватости.

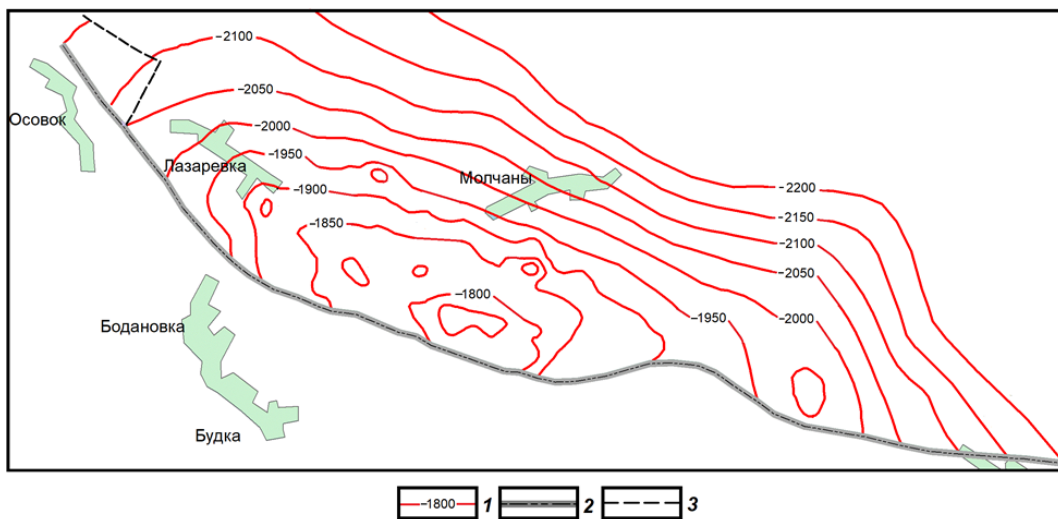


Рисунок 3 – Структурная карта по кровле задонского горизонта (IV пачка) в пределах Речицкого месторождения нефти

1 – изолинии кровли задонского горизонта; 2 – граница IV пачки; 3 – локальные разломы.

Кольцевая структура примыкает к приподнятому северному крылу Речицко-Вишанского разлома и, по-видимому, обнаруживает связь с каналами разгрузки мантийных флюидопотоков в осадочный чехол. В пределах промежуточного блока Речицко-Вишанского разлома открыто Угольское месторождение нефти, содержащее тектонически экранированную залежь в семилукском горизонте подсолевых отложений верхнего девона на глубине более 5 км. Формирование новых залежей УВ вблизи разрабатываемых месторождений нефти, возможно, связано с подтоком глубинных УВ-флюидов в зонах региональных мантийных разломов и прилегающих к ним кольцевых структур. В пределах приподнятых и опущенных крыльев разломов УВ могут быть генерированы в блоковых и блоково-пликативных струк-

турных формах, испытывающих активизацию в позднеолигоцен-четвертичное время и выраженных на КС в виде локальных кольцевых объектов.

В настоящее время в БГУ большое внимание уделяется подготовке национальных геологических кадров в связи с дальнейшим изучением геологического строения недр территории Беларуси на основе инновационных технологий, поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых, рациональным недропользованием и охраной геологической среды. В период становления и развития отечественной геологической отрасли выдающийся белорусский ученый академик Гавриил Иванович Горецкий справедливо отметил, что *«праца па вывучэнню геалогіі Беларусі – самае галоўнае, самае важнае, самае вялікае, самае значнае»*.

Сегодня ведущий университет страны является центральным звеном в освоении наук о Земле, в том числе в геологическом образовании. Важную роль в удовлетворении потребности в геологах высшей квалификации играет кафедра региональной геологии факультета географии и геоинформатики БГУ. Она осуществляет подготовку инженеров-геологов по специальности I-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». На кафедре действует магистратура по специальности I-51 80 04 «Геология» и аспирантура по специальности 25.01.01 «Общая и региональная геология».

Инновационный подход к изучению проблем региональной геологии и прогнозированию месторождений полезных ископаемых базируется на внедрении в сфере образовательного процесса современных методов получения новой геологической информации. В этом отношении широкие возможности открывают данные ДЗЗ из космоса. Космическая информация обеспечивает приобретение студентами космогеологических знаний и их реализацию в решении целого спектра научно-практических задач при геологическом картировании, прогнозно-минерагенических исследованиях, эколого-геологической оценке территории и в других направлениях региональной геологии. Будущие специалисты должны владеть методами геологической интерпретации данных ДЗЗ из космоса совместно с геолого-геофизическими материалами.

В рациональном комплексе преподаваемых дисциплин геологического цикла широко представлены актуальные проблемы космического зондирования Земли, обеспечивающие формирование теоретико-методической базы знаний о строении земной коры, прогнозировании полезных ископаемых и рациональном недропользовании. Особо следует отметить высокую степень проработки данного направления в курсах лекций «Геологическая съёмка и картографирование», «Геотектоника», «Дистанционные методы в геологии», «Основы космической геологии», «Экологическая геология», «Спутниковые технологии в геодинамике» и «Космогеологические методы поисков нефти».

Таким образом, спутниковые технологии играют важную роль в инновационном развитии региональной геологии и геологического образования. Анализ данных ДЗЗ из космоса совместно с геолого-геофизическими материалами приобретает существенное значение при проведении геологосъёмочных работ и прогнозировании полезных ископаемых. В сфере образовательного процесса космическая информация способствует формированию у студентов и магистрантов современного уровня космогеологических знаний в связи с подготовкой квалифицированных кадров для геологоразведочной отрасли.

Библиографические ссылки

1. Гридин В. И., Дмитриевский А. Н. Системно-аэрокосмическое изучение нефтегазоносных территорий. М. : Наука, 1994.
2. Губин В. Н., Ковалёв А. А. Космическая геология Беларуси. Минск : Лазурек, 2008.
3. Перспективные технические средства и технологии для развития космической отрасли: результаты реализации программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг-СГ») / М. И. Макаров [и др.]. Минск : Беларус. навука, 2019.

4. Спутниковые технологии в геодинамике / Под ред. В. Н. Губина. Минск : Минсктиппроект, 2010.

5. Тимурзиев А. И., Шумейкин С. А., Шумейкин А. С. Методы и технологии оценки перспектив нефтегазоносности территорий на основе комплексного анализа потенциальных полей, данных сейсморазведки, топогеодезической и космической съёмки // Глубин. нефть. 2014. Т. 2, № 3. С. 307–340.

6. Трофимов Д. М. Дистанционные методы в нефтегазовой геологии. М. : Инфра-Инженерия, 2018.

УДК 551.243.8

ОТРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА ФУНДАМЕНТА БАЛТИЙСКО-ПРИДНЕСТРОВСКОЙ ЗОНЫ ПЕРИКРАТОННЫХ ОПУСКАНИЙ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

С. Л. Сушкевич

Институт природопользования НАН Беларуси,
ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; sergeysushkevich1@gmail.com

Показана возможность использования геофизических полей для тектонического районирования фундамента в Балтийско-Приднестровской зоне перикратонных опусканий.

Ключевые слова: геофизические поля; геофизические аномалии; Балтийско-Приднестровская зона перекратонных опусканий.

Основная задача проведённых исследований заключалась в выяснении соотношений различных типов геофизических аномалий, их систем, подсистем и зон с установленными тектоническими структурами – крупными блоками, поясами, глубинными разломами в Балтийско-Приднестровской зоне перикратонных опусканий.

Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий простирается вдоль юго-западного края Восточно-Европейской платформы от Северного моря до Чёрного.

На территории исследования Балтийско-Приднестровской зоны перекратонных опусканий Г. В. Зиновенко [1] по поверхности фундамента выделено 8 крупных геологических структур: I – Молдавская моноклираль, II – Северо-Молдавское поднятие, III – Волыно-Подольская впадина, IV – Луковско-Ратновский выступ, V – Подляско-Брестская впадина, VI – Мазурский выступ, VII – Балтийская синеклиза и VIII – Балтийский щит (рис. 1).

Все отрицательные и положительные структуры края платформы имеют субширотное и северо-восточное простирание, примыкающие на юго-западе к линии Тейссера-Торнквиста. Фундамент в пределах данных структур погружается в западном, юго-западном направлениях от –0,5 км до –8–10 км.

Разломная сеть в пределах данных структур имеет диагональную и ортогональную направленность. Диагональная система разломов более древняя, и, по-видимому, была заложена на доплатформенном этапе. Система разломов ортогонального заложения, в основном сформировавшаяся на платформенном этапе, соподчинена диагональной [1].

Основными методическими приёмами при выяснении взаимосвязи геофизических полей и строения кристаллического фундамента обычно являются: 1) районирование и типизация гравитационных и магнитных аномалий; 2) составление региональных схематических глубинных геолого-геофизических разрезов через рассматриваемый регион; 3) выяснение корреляционных статистических связей между различными типами и интенсивностью магнитных и гравитационных аномалий и количеством месторождений и рудопроявлений полез-

ных ископаемых, а в случае их разведанности – с установленными запасами рудных ископаемых в пределах аномальных зон.

Районирование и типизация потенциальных полей основываются на анализе их морфологии, структуры и интенсивности в площадном и профильном вариантах с учётом их связи с известными геологическими и металлогеническими структурами с последующей экстраполяцией полученных данных на весь рассматриваемый регион.

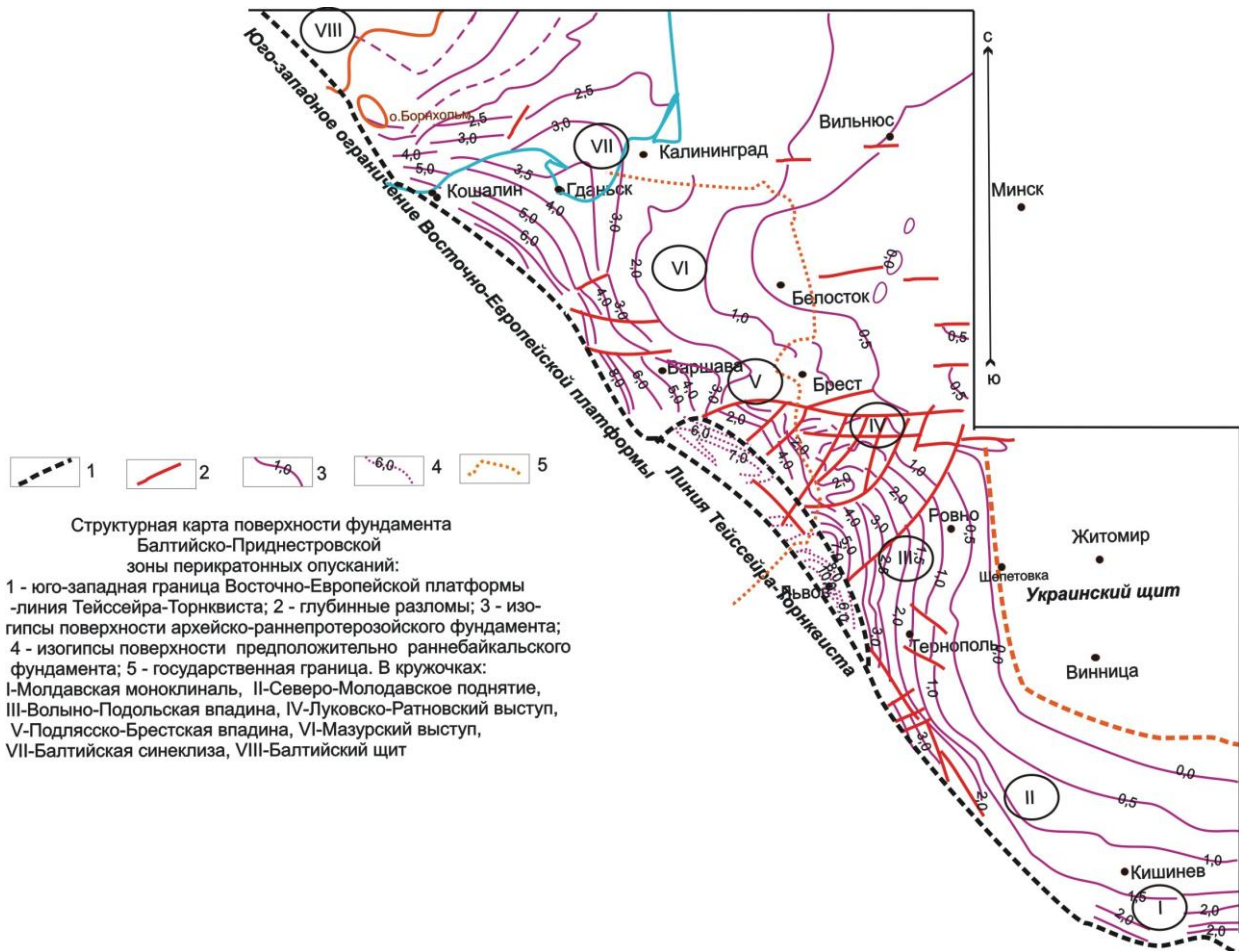


Рисунок 1 – Структурная карта поверхности фундамента Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий [1]

Нами рассмотрен характер отражения этих структур в гравитационном и магнитном аномальных полях (рис. 2, 3).

Прежде всего, отметим, что каждая из рассматриваемых структур чётко соответствует контурам аномалий, представляемых их морфологической структурой.

При этом Волыно-Подольская и Подляско-Брестская впадины отмечаются магнитными максимумами невысокой интенсивности. В тоже время Мазурскому, Луковско-Ратновскому выступам и Северо-Молдавскому поднятию отвечают слабоинтенсивные магнитные минимумы.

В гравитационном поле несколько иная картина: для Волыно-Подольской впадины характерно слабое положительное поле, а Подляско-Брестской впадине соответствует чётко выраженная отрицательная аномалия средней интенсивности. Для Мазурского, Луковско-Ратновского выступов и Северо-Молдавского поднятия характерны положительные гравитационные аномалии.

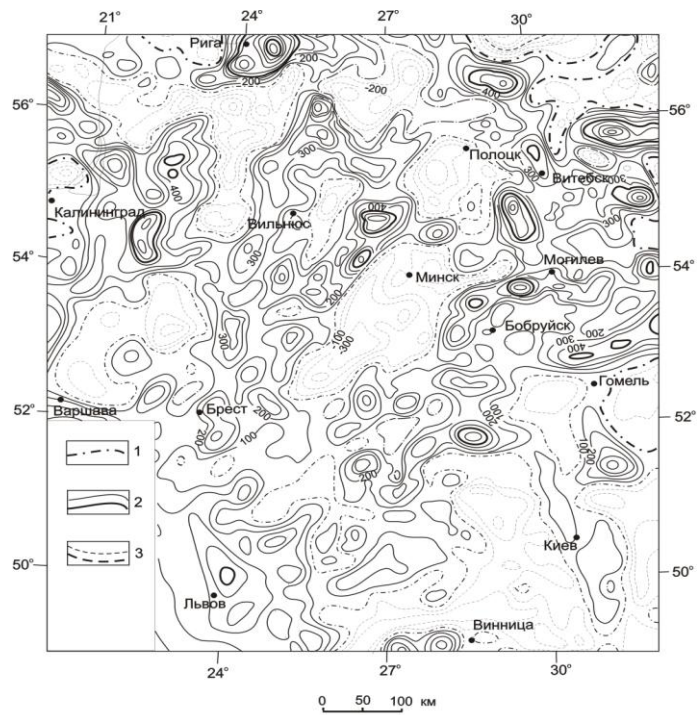


Рисунок 2 – Карта аномального магнитного поля Беларуси и смежных территорий, нТл [2]
 1 – нулевая изодинама; 2 – положительные изодинамы; 3 – отрицательные изодинамы.

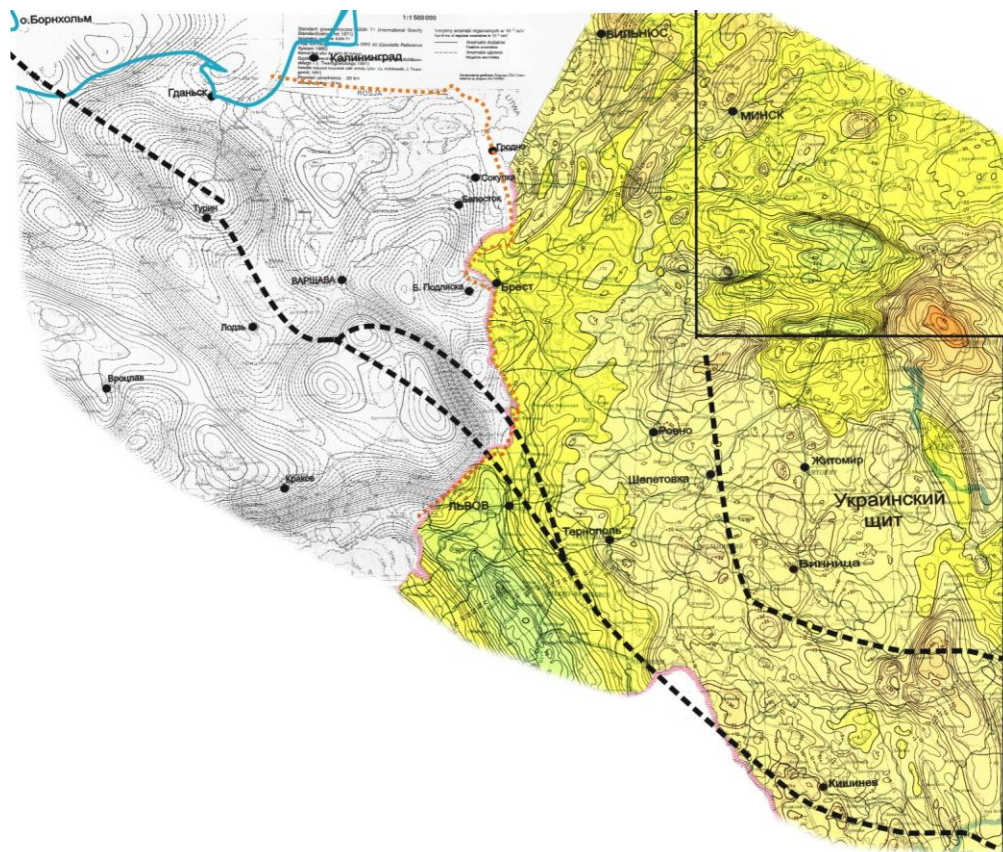


Рисунок 3 – Карта гравитационных аномалий на территории Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и сопредельных структур (составлено с использованием картографических материалов [3, 4])

Таким образом, в магнитном поле выступы и впадины в фундаменте чётко различаются противоположными по знаку аномалиями. В гравитационном поле выступы и поднятия по фундаменту характеризуются в основном положительными аномалиями.

Такое отражение структур фундамента в гравитационном и магнитном аномальном полях даёт основания использовать геофизические поля для тектонического районирования фундамента в Балтийско-Приднестровской зоне перикратонных опусканий.

Библиографические ссылки

1. *Зиновенко Г. В.* Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий. Минск : Наука и техника, 1986.
2. *Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И.* Шовные зоны Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии. Минск : Беларус. навука, 2014.
3. Гравиметрическая карта СССР / Под ред. П. П. Степанова, М. А. Янушевич. М 1 : 2 500 000. М. : МинГео СССР, 1971.
4. Gravimetric Atlas of Poland / Edited by Cz. Krolkowski, Z. Petecki. Warszawa : PIG, 1995.

УДК 551.243.8

МОЩНОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАЛТИЙСКО-ПРИДНЕСТРОВСКОЙ ЗОНЫ ПЕРИКРАТОННЫХ ОПУСКАНИЙ

А. К. Хибиев

Институт природопользования НАН Беларуси,
ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; loter_mc@mail.ru

Рассмотрены вопросы построения карты мощности земной коры на участке Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий.

Ключевые слова: глубинное сейсмическое зондирование; физико-геологическое моделирование; Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий.

На территории Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и в соседних районах к настоящему времени выполнен большой объём глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) и построены профили физико-геологического моделирования (ФГМ) (рис. 1).

Это даёт нам основание, опираясь на выявление корреляции глубин залегания поверхности Мохоровичича (Мохо) – мощности земной коры и значений гравитационных аномалий, определить мощность коры в межпрофильном пространстве и, тем самым, построить карту мощности коры для всей исследуемой территории.

С этой целью с графиков профилей ГСЗ и ФГМ (рис. 2, 3) были сняты и нанесены на карту значения мощности коры, а с гравиметрической карты (рис. 4) – соответствующие значения гравитационных аномалий в тех же точках [1].

По этим данным был построен корреляционный график, показавший закономерную связь значений мощности коры и гравитационным полем.

Затем, используя карту гравитационных аномалий, основываясь на сейсмических данных по профилям, были определены и вынесены на карту значения мощности земной коры в точках межпрофильного пространства. В результате соответствующей интерполяции была построена карта мощности коры для всей исследуемой территории.

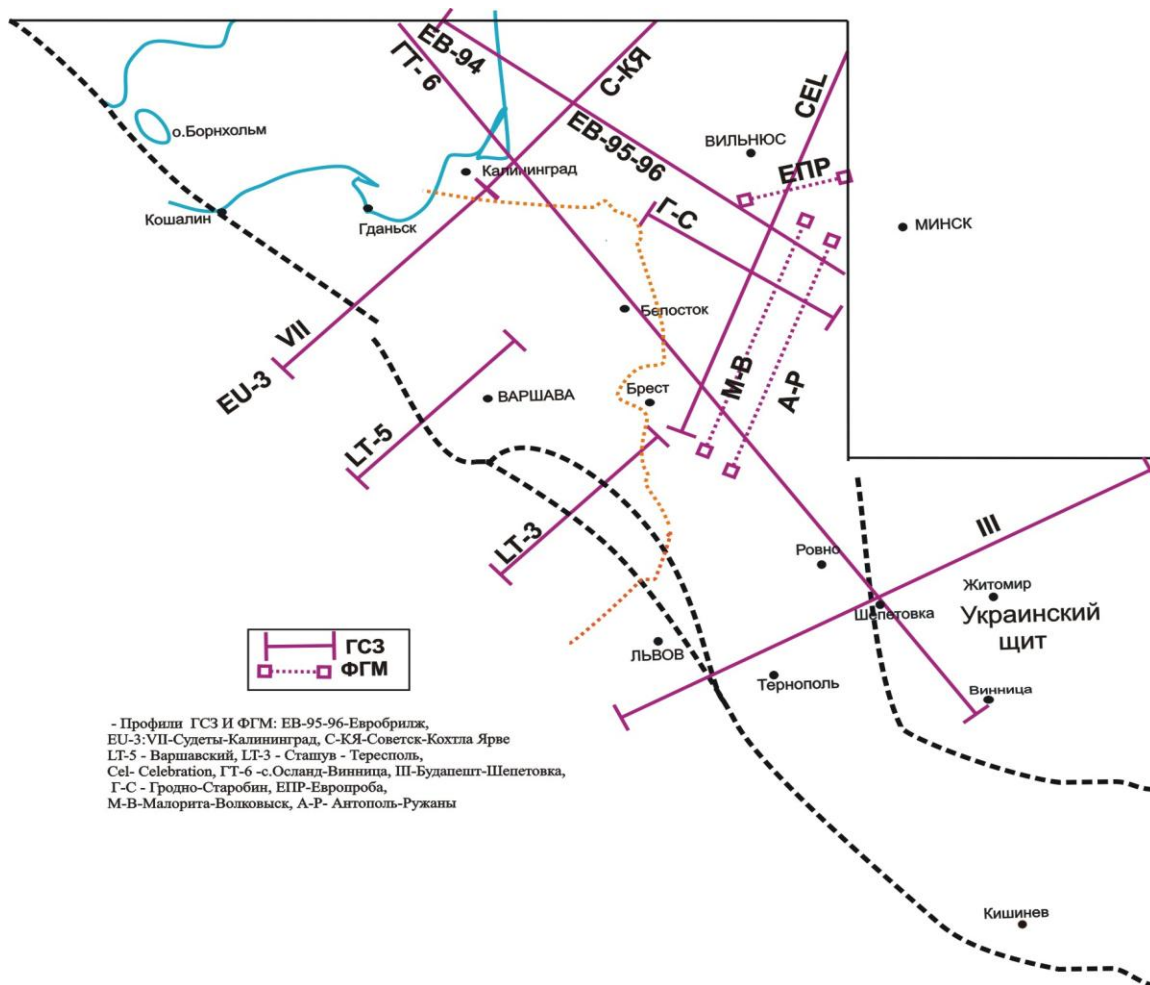


Рисунок 1 – Схема профилей ГСЗ и ФГМ на территории Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и соседних структур [1, 2]

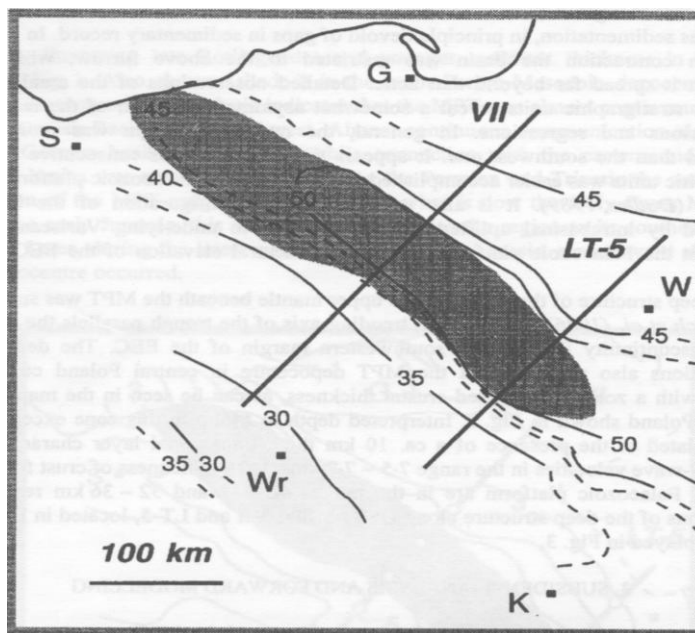


Рисунок 2 – Карта мощности земной коры на территории Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и соседних структур [2]

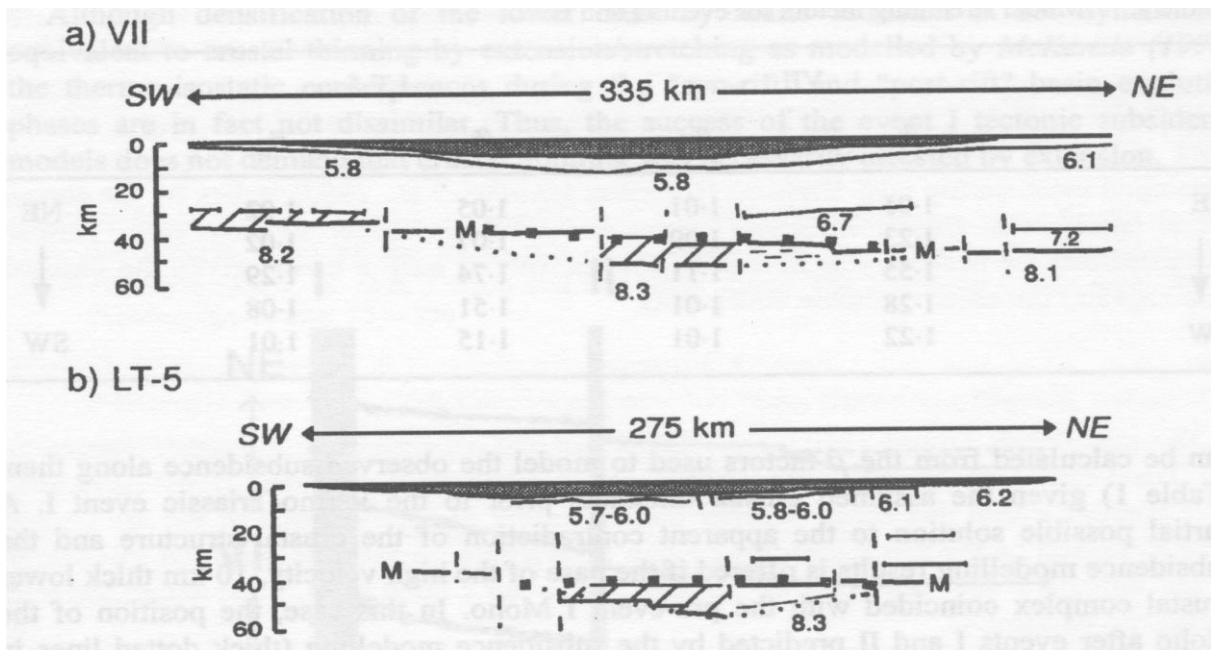


Рисунок 3 – Структура земной коры по данным ГСЗ по профилям VII и LT-5 [2]

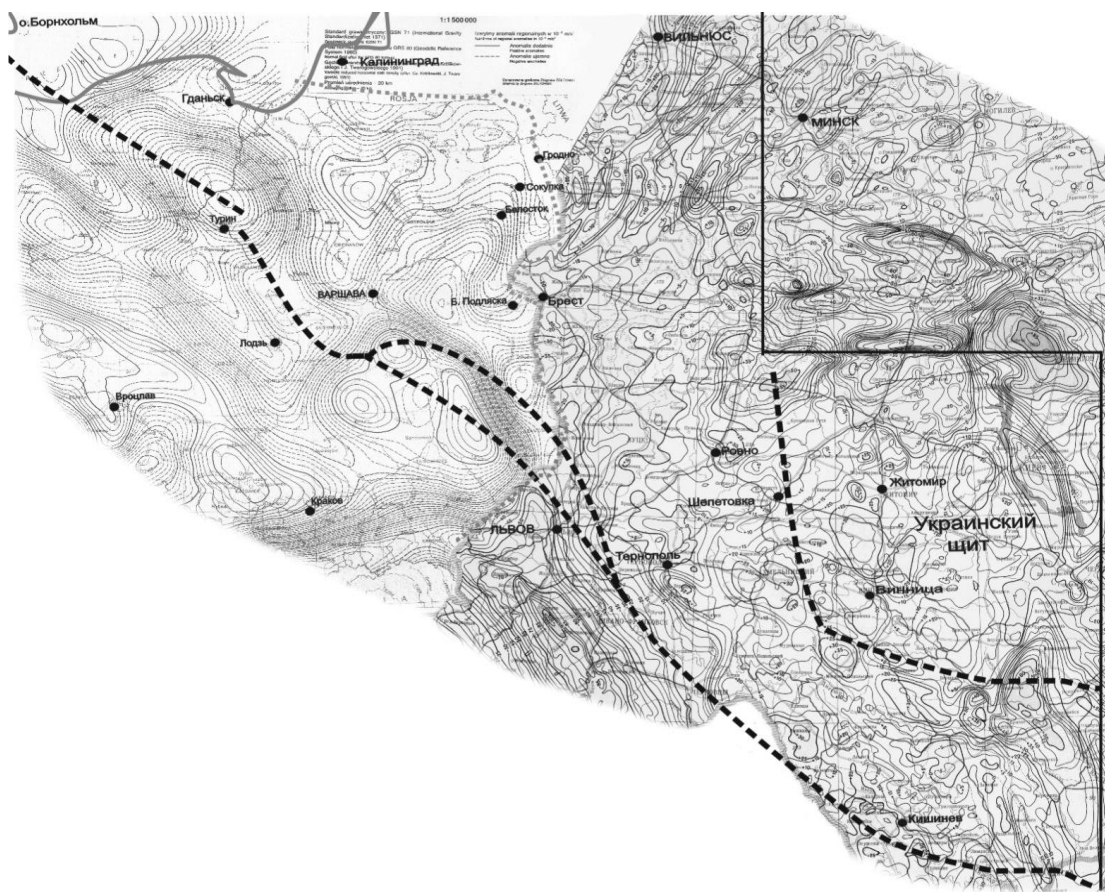


Рисунок 4 – Карта гравитационных аномалий на территории Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и соседних структур [3, 4]

Библиографические ссылки

1. *Зиновенко Г. В.* Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий. Минск : Наука и техника, 1986.
2. *Stephenson R.* Implications of tectonic subsidence models for crustal structure beneath the mid-pilish trough // *Studia geophysica et geodaetica*. 1995. Vol. 39, N 3. P. 289–297.
3. Гравиметрическая карта СССР / Под ред. П. П. Степанова, М. А. Янушевич. М 1 : 2 500 000. М. : МинГео СССР, 1971.
4. Gravimetric Atlas of Poland / Edited by Cz. Krolkowski, Z. Petecki. Warszawa : PIG, 1995.

УДК 551.761.1+551.24(476-12)

К ИСТОРИИ СОСТАВЛЕНИЯ КАРТЫ МОЩНОСТЕЙ ОТЛОЖЕНИЙ ИНДСКОГО ЯРУСА НИЖНЕГО ТРИАСА БРАГИНСКО-ЛОЕВСКОЙ СЕДЛОВИНЫ

В. И. Толстошеев, П. О. Сахарук, С. А. Кручек

Научно-производственный центр по геологии, филиал «Институт геологии»,
ул. Купревича 7, 220141 Минск, Республика Беларусь;
kruchek37@gmail.com, polina.sakharuk@gmail.com

Рассматривается история развития представлений о характере распределения мощностей отложений индского яруса нижнего триаса на востоке Беларуси (восточные районы Припятского прогиба, Брагинско-Лоевская седловина и северо-западные части Днепровско-Донецкого прогиба).

Ключевые слова: триасовая система; индский ярус; карта мощностей.

При изучении стратиграфии пермских и триасовых отложений территории Беларуси, главным образом Припятского прогиба, включая и Брагинско-Лоевскую седловину, первенство в составлении лито-фациальных карт отдельных стратонов с отрисовкой на них изопакит мощностей принадлежит В. К. Голубцову, которым были составлены в масштабе 1 : 1 000 000 и опубликованы в 1961 г. такие карты по стратиграфическим подразделениям верхнего девона – нижнему триасу [4]. Из них следует отметить карту, являющуюся по содержанию наиболее близкой к теме данной публикации и относящуюся в 1950-60-е гг. не к триасовой, а к пермской системе. Это «Литолого-фациальная карта Белоруссии и смежных районов. Пермь, верхний отдел, татарский ярус» [4; рис. 36, С. 161], на которой представлены отложения песчано-конгломератовой, песчаниковой (оолитовой) и песчаной толщ (подсвет), соответствующих в современном понимании корневской свите индского яруса нижнего триаса [13]. На этой карте наряду с вещественным составом пород, органическими остатками и их фациальными особенностями были показаны изопакиты мощностей отложений от 12,5–50 м до 100–150 м, местами 200–300 м. Из них для территории Брагинско-Лоевской седловины приводятся мощности, равные 164 м (скв. Брагин 1) и 135 м (скв. Черниговская 1, с. Любеч).

Упрощенный вариант указанной карты под названием «Литолого-фациальная схема. Пермский период, верхняя эпоха, время накопления осадков корневской свиты» был помещен В. К. Голубцовым и в работе 1971 г. [1; рис. 79, С. 397], на которой изопакиты мощностей отложений этой свиты изображены для Припятской впадины в обобщённом виде в пределах 100–200 м.

Следующим важным этапом, отразившимся на составлении карт мощностей отложений пермской и триасовой систем Припятского прогиба, были 1970-е гг., когда пермский возраст корневской свиты, который в основном отстаивали Ф. Е. Лапчик [5] и В. К. Голубцов [2, 4],

был переинтерпретирован на основании палеонтологических данных Е. М. Люткевича [6], Л. Я. Сайдаковского [12] и др. на триасовый, что было принято сначала на Межведомственном стратиграфическом совещании по триасу Восточно-Европейской платформы (Саратов, 1979 г.) [10], а затем на Межведомственном региональном стратиграфическом совещании по разработке унифицированных стратиграфических схем Белоруссии 1981 г. [11] и на Белорусском республиканском стратиграфическом совещании по проектам новых стратиграфических схем Беларуси 2005 г. [3], а также в Стратиграфических схемах 2010 г. [13].

На этом этапе изучением пермских и триасовых отложений Припятского прогиба, особенно их расчленением по литолого-геофизическим данным, занимался К. Н. Монкевич [7]. В своей диссертационной работе [9] он построил для указанных геологических систем прогиба серию поярусных структурных и карт мощностей в масштабе 1 : 200 000. При этом, если в работе 1976 г. [9] к индскому ярусу нижнего триаса автор относил только отложения корневской свиты и нижней подсвиты мозырской свиты, то в более поздних работах в состав данного яруса им была включена и дудичская свита верхней перми [8].

Отметим некоторые особенности карты мощностей индского яруса нижнего триаса 1976 г. [9], касающиеся Брагинско-Лоевской седловины и примыкающих к ней территорий Припятского и Днепровско-Донецкого прогибов. В частности, в составе этой карты мощностей индских отложений, как и других ярусных карт триасовой системы, их автором были выделены зоны: Центральная (соответствующая центральной части Припятского прогиба, являющейся наиболее сложной по строению, что обусловлено проявлением здесь соляной тектоники) и обрамляющие её Северная бортовая, Северная и Южная прибортовые зоны неглубокого залегания индских отложений. Также были выделены зоны центриклинального замыкания: на западе Припятского, а на востоке – Днепровско-Донецкого прогибов.

Для отражения различных положительных и отрицательных структур К. Н. Монкевич использовал в качестве основных изопахиты через 100 м, а дополнительных – через 50 м, без привязки к разрезам скважин, что снижает ценность таких картографических построений. Вследствие такого подхода, в пределах Брагинско-Лоевской седловины, а также восточной части Припятского и северо-западных районов Днепровско-Донецкого прогибов, мелкие и малоамплитудные структуры не проявились.

В 2019 г. В. И. Толстошеевым с соавторами был составлен согласно стратиграфической схеме триасовых отложений Беларуси 2010 г. [13] уточненный вариант новой карты мощностей образований индского яруса нижнего триаса в масштабе 1 : 200 000 для территории Брагинско-Лоевской седловины и сопредельных с ней тектонических структур (рис.).

Отличие новой карты 2019 г. (см. рисунок). от карты 1961 г. В. К. Голубцова [4] и карты 1976 г. К. Н. Монкевича [9] заключается в следующем: 1) в понимании объёма индского яруса нижнего триаса, включающего отложения выступовичской и корневской свит, трансгрессивно залегающих на дудичской свите татарского яруса верхней перми и с размывом перекрывающихся породами мозырской свиты оленекского яруса нижнего триаса; 2) в признании точки зрения В. К. Голубцова (1971, 1981) о существовании между свитами верхней перми и нижнего триаса перерывов в осадконакоплении, в отличие от позиции К. Н. Монкевича (1976), отрицающего их присутствие; 3) в показе на новой карте 2019 г. местоположения наиболее важных 420 разрезов глубоких и мелких скважин, пробуренных с целью поисков на исследуемой территории различных полезных ископаемых (нефти, углей, минеральных вод и др.); 4) в отображении цветом территории погребённой под нижнетриасовыми отложениями Брагинско-Лоевской седловины, что облегчает для читателя понимание положения этой тектонической структуры на карте; 5) особенностью карты 2019 г. является также и то, что основные изопахиты отложений индского яруса на ней проведены через 10 м, а дополнительные – через 5 м, что позволило её авторам внести значительное уточнение в распределение мощностей индских отложений как на Брагинско-Лоевской седловине, так и на сопредельных территориях Гомельской структурной переемычки, юго-запада Воронежской антеклизы и осо-

бенно – северо-западной части Днепровско-Донецкого прогиба (эти уточнения позволили более детально выделить на указанных выше тектонических структурах положительные и отрицательные локальные структуры разных размеров и дать им географические названия, что хорошо видно при сравнении карт 1976 г. и 2019 г.).

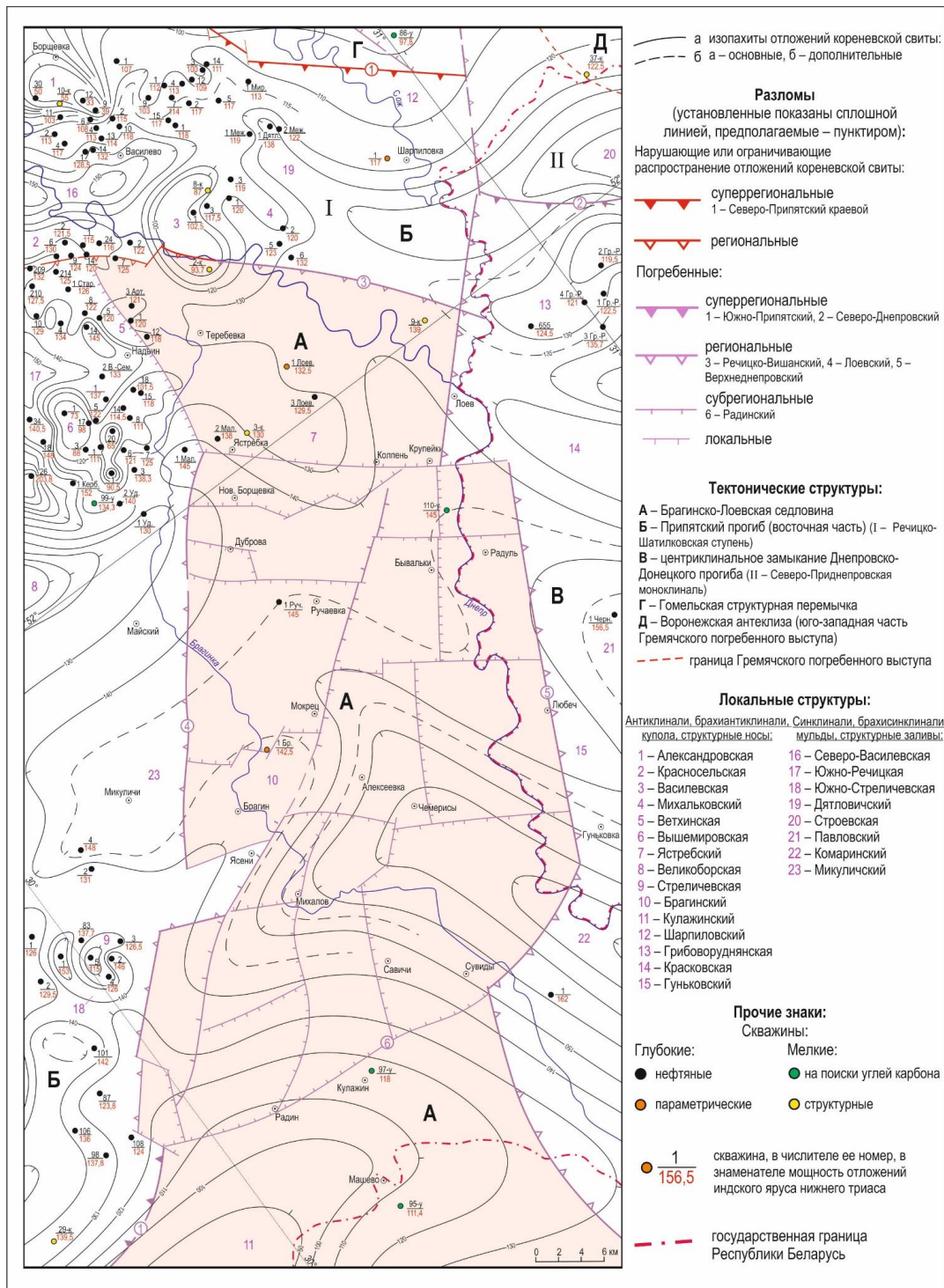


Рисунок – Фрагмент новой карты мощностей отложений индского яруса нижнего триаса Брагинско-Лоевской седловины и сопредельных территорий, 2019 г.

Библиографические ссылки

1. Геология СССР. Т. III. Белорусская ССР. Геологическое описание / Ред. П. А. Леонович. М. : Недра, 1971.
2. Голубцов В. К. Стратиграфическая схема пермо-триаса Припятского прогиба // Тр. ИГН АН БССР. 1958. Вып. 1. С. 57–61.
3. Голубцов В. К., Монкевич К. Н. Стратиграфическая схема триасовых отложений Беларуси // Літасфера. 2005. № 1 (22). С. 103–107.
4. Голубцов В. К., Махнач А. С. Фации территории Белоруссии в палеозое и раннем мезозое. Минск : Изд-во АН БССР, 1961.
5. Лапчик Ф. Е. Пермские и триасовые отложения Днепровско-Донецкой впадины и северо-западных окраин Донбасса. Киев : Изд-во АН УССР, 1958.
6. Люткевич Е. М. О нижней границе триаса на Русской платформе // Геол. сб. 7: Тр. ВНИГРИ. Л. : Гостоптехиздат, 1962. Вып. 190. С. 275–286.
7. Монкевич К. Н. Литолого-геофизическая характеристика пермских и триасовых отложений Припятского прогиба // Проблемы геохим. и геофиз. изучения земной коры. Минск : Наука и техника, 1974. С. 207–212.
8. Монкевич К. Н. О стратиграфии триасовых отложений Белоруссии // Материалы по стратиграфии Белоруссии (к Межведомств. стратиграф. совещ.). Минск : Наука и техника, 1981. С. 91–92.
9. Монкевич К. Н. Пермские и триасовые отложения Припятского прогиба. Минск : Наука и техника, 1976.
10. Решение Межведомственного стратиграфического совещания по триасу Восточно-Европейской платформы (г. Саратов, 1979) с региональными стратиграфическими схемами. Л. : ВСЕГЕИ, 1982.
11. Решения Межведомственного регионального стратиграфического совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Белоруссии, 1981 г. (с унифицированными стратиграфическими корреляционными таблицами). Л. : ВСЕГЕИ, 1983. 135 с.
12. Сайдаковский Л. Я. Этапность развития харофитов и биостратиграфия верхнепалеозойских и нижнемезозойских отложений Восточно-Европейской платформы: автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. Л. : Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т, 1971. 57 с.
13. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объясн. зап. / Под ред. С. А. Кручека, А. В. Матвеева, Т. Я. Якубовской и др. Минск : БелНИГРИ, 2010.

УДК 551.762 (476-12)

О НАХОДКЕ МИКРОФИТОФОССИЛИЙ РАННЕТРИАСОВОГО ВОЗРАСТА В РАЗРЕЗЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ ПРИВОЛЬЕ 2П ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

В. Ю. Обуховская, П. О. Сахарук

Научно-производственный центр по геологии, филиал «Институт геологии»,
ул. Купревича 7, 220141 Минск, Республика Беларусь;
veronikaobukhovskaya@yandex.ru, polina.sakharuk@gmail.com

Впервые выделены и изучены палинокомплексы коренёвской свиты индского яруса нижнего триаса в параметрической скв. Приволье 2П в зоне сочленения Северо-Припятского плеча и Гомельской структурной перемычки, что позволило уточнить область распространения нижнетриасовых отложений в пределах данных тектонических структур на юго-востоке Беларуси.

Ключевые слова: триасовая система; индский ярус; коренёвская свита; миоспоры; пыльца.

Параметрическая скв. Приволье 2П расположена южнее деревни Азделино Гомельского р-на Гомельской обл. Беларуси, что в тектоническом отношении соответствует зоне сочлене-

ния Северо-Припятского плеча и Гомельской структурной перемычки. Ранее граница распространения нижнетриасовых (коренёвских) отложений проводилась южнее, однако изучение палинокомплексов в разрезе скв. Приволье 2П позволило выделить отдельный изолированный участок распространения данных образований значительно севернее прежнего контура (рис. 1).

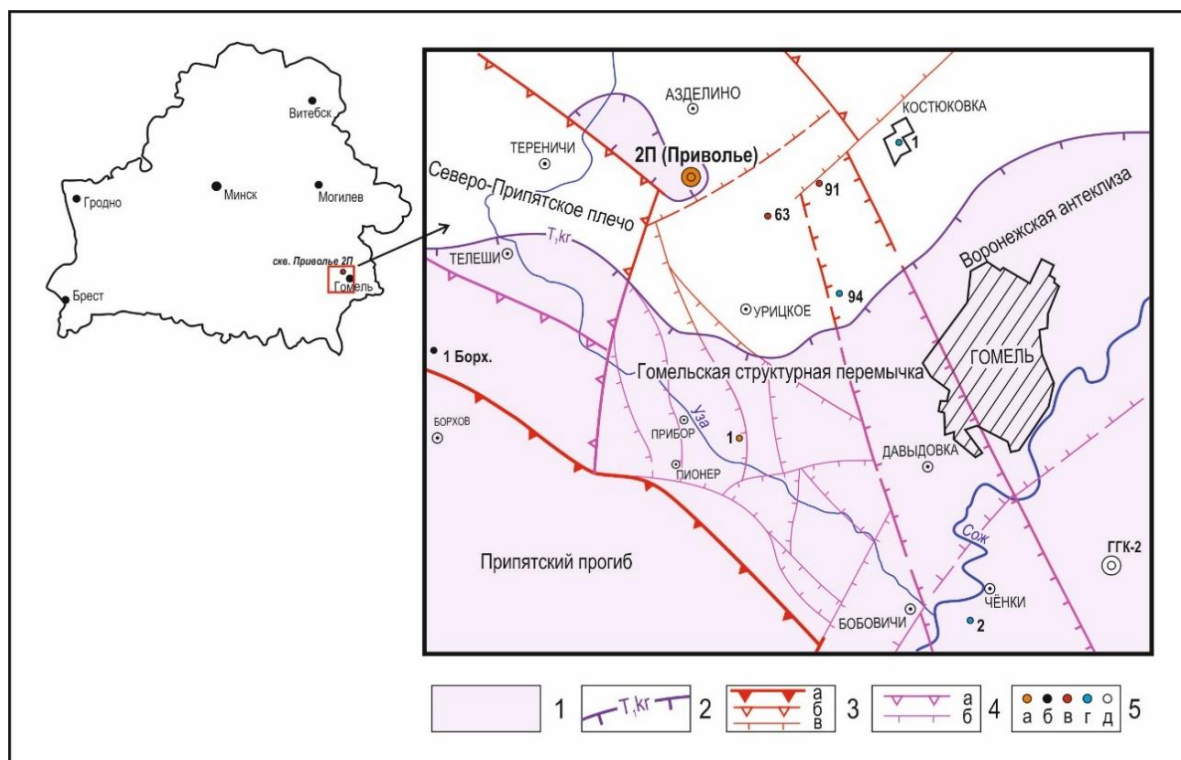


Рисунок 1 – Схема расположения скв. Приволье 2П

1 – область распространения нижнетриасовых (кореневских) отложений [6, с уточнениями]; 2 – граница распространения нижнетриасовых отложений; 3 – разломы, нарушающие и ограничивающие залегание нижнетриасовых отложений (а – суперрегиональный, б – региональные, в – субрегиональные и локальные); 4 – погребённые разломы (а – региональные, б – субрегиональные и локальные); 5 – скважины (а – параметрические, б – нефтяные, в – на поиски трубок взрыва, г – гидрогеологические, д – прочие).

Ранее палинокомплексы триасового возраста были известны только в Припятском прогибе как определения И. С. Макаровой в породах *мозырской свиты* нижнего триаса скв. Прудок 20к (инт. 655,3–665,9 м). В зеленовато-серой глине, с трещинами усыхания, единичными конхостраками и многочисленными мелкими остатками рыб ей были определены следующие миоспоры: *Voltziapites vulgaris* Mal., *Lebachiacites saratoviensis* Mal., *Cordaianitus excelcus* Mal., *Platysaccus* cf. *papillosus* (Pot.) Klaus, *Anquistisulcites klausii* Frund., *Verrucosporites krempii* Mädl., *Punctatisporites triassicus* Schulz., *Osmundacidites senetus* Balme, *Sulcatisporites* sp. и др. [2; С. 279]. Сейчас эти данные пополнены новыми находками спор и пыльцы в отложениях *коренёвской свиты* индского яруса нижнего отдела триасовой системы [2, 3], в скв. Приволье 2П. В её разрезе они вскрыты в инт. 257,7–270,0 м (мощность – 12,3 м) (рис. 2). Они трансгрессивно залегают на породах воронежского горизонта (*уваровичская свита*) франского яруса верхнего девона [4] и перекрываются со стратиграфическим перерывом образованиями батского яруса средней юры. В нижней части (инт. 262,2–270,0 м) разрез нижнетриасовых отложений скв. Приволье 2П сложен песчаником бурым и пестроцветным, местами разнозернистым, крепким, участками алевритистым, с единичным прослоем доломита песчанистого, с кремевым оттенком.

В интервалах 262,0–265,0 м и 267,5–270,0 м породы охарактеризованы палинологически. Здесь среди миоспор определены следующие виды: *Tripartina velaria* Mal., *Todites* sp. [1; С. 50, табл. 1, фиг. 8], являющиеся наиболее характерными для триасовых отложений [1, 5]. Среди сопутствующих форм встречаются также: *Conglomeratispora triassica* (Mal.) War., *Matonia triassica* Kara-Murza emend War., *Granizonospora vulgaris* f. *elegans* (Luber) War., *Leiotriletes elegans* Kara-Murza, *L. nigratus* Naum., *Chomotriletes* sp.

Пыльца представлена комплексами видов: *Pleuromeria* cf. *rossica* Neuburg., *Caytonidites alaticonformis* Mal., *Patellina plicata* Mal., *Striatocedryites parviextensisaccus* (Sam.) V. Sauer, являющихся также руководящими и характерными для триасовых отложений. Представителями сопутствующих и транзитных форм являются: *Pseudopicea* cf. *regia* War., *Tsugaepollenites* cf. *oriens* Klaus, *Podocarpites* sp. 2, *Protohaploxypinus trivialis* (Naum.) Sam., *Entylissa cycadiformis* Naum., *Caytonia* cf. *gracilis* War., *Lebachia insignis* War., *Striatohaploxypinites* sp. 1, *Striatopodocarpites tojmensis* Sedova, *Cedruites micrdyction* War., *Entylissa* aff. *typica* (Mal.) War. В палинокомплексах нижней части разреза коренёвской свиты миоспоры и пыльца содержатся в очень небольшом количестве, среди них здесь преобладает пыльца.

В отличие от нижней, верхняя часть разреза образований нижнего триаса (инт. 256,8–262,2 м) скв. Приволье 2П (рис. 2) представлена песчаником сизовато-серым, мелкозернистым, плитчатым, слабослюдистым, местами алевритистым. Здесь, в интервале глубин 257,7–262,2 м породы охарактеризованы палинологически. В установленных палинокомплексах миоспоры и пыльца также немногочисленны, однако в них, в отличие от палинологических ассоциаций нижней части разреза *коренёвской свиты*, преобладают миоспоры. Их видовой состав следующий: *Osmunda granulata* War., *Conglomeratispora triassica* (Mal.) War., *Osmindopsis* (?) *spinosa* (Naum.) Kara-Murza emend. War., *Hymenophyllum* aff. *granulatum* Fad., *Matonia rhomopiformis* Fad., *M. triassica* Kara-Murza emend War., *Camptotriletes tortuosus* War., *Knoxisporites rurcatus* (Bolch.) War., *Azonoletes vevis* Luber, *Stenozonotriletes* aff. *bellus* War., *Retusotriletes radiatus* (Kara-Murza) War., *Leiotriletes elegans* Kara-Murza, являющиеся сопутствующими и транзитными для триаса, перми–триаса, триаса–юры, перми–мела [1, 5].

Пыльцевой спектр представлен видами: *Stachycarpites lobisaccata* Mal., *Protohaploxypinus* sp. [1; С. 124, табл. 16, фиг. 1], являющиеся руководящими для нижнего триаса, а также транзитными формами: *Asaccites* f₁ War. et Kara-Murza, *Podocarpites* cf. *tricocca* (Mal.) War., *P. major* (Lub.) War. *Cedruites micrdyction* War., *Protohaploxypinus trivialis* (Naum.) Sam., *P. pellucidus* Reinhardt, *Striatohaploxypinus latissimus* (Luber) V. Sauer emend. War. [1, 5].

Анализ состава комплексов руководящих и преобладающих видов миоспор и пыльцы, выделенных из разреза *коренёвской свиты* нижнего триаса, позволяет сопоставлять данные спорово-пыльцевые комплексы с одновозрастными ассоциациями из отложений индского яруса северо-востока Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ, а также с палинокомплексами нижнего триаса Австралии на основании присутствия в них таких видов, как: *Tripartina velaria* Mal., *Todites* sp., *Patellina plicata* Mal., *Pleuromeria* cf. *rossica* Neuburg, *Caytonidites elaticonformis* Mal., *Protohaploxypinus* sp. [1, 5, 7].

В заключение отметим, что особенность данной работы заключается в том, что в разрезе скв. Приволье 2П юго-восточной части Беларуси впервые выделены и изучены палинокомплексы коренёвской свиты индского яруса нижнего триаса, которые позволили уточнить контур распространения коренёвских отложений зоны сочленения Северо-Припятского плеча и Гомельской структурной перемычки [6]. До этого коренёвская свита выделялась здесь преимущественно на основании литолого-геофизических данных, что и отражено в ряде публикаций [4, 6]. Полученные в процессе палинологического исследования результаты необходимо учитывать при внесении уточнений и дополнений в стратиграфическую схему триасовых отложений Беларуси [3].

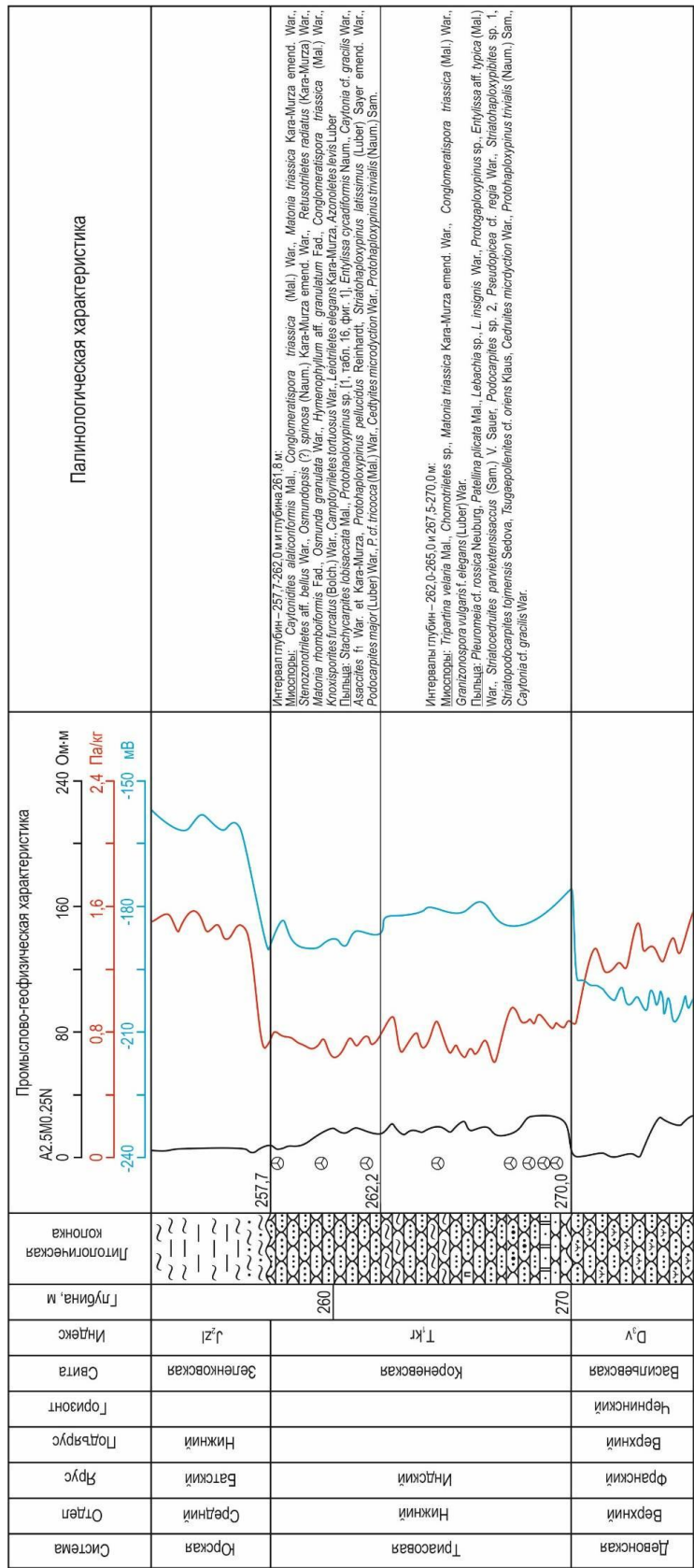


Рисунок 2 – Биостратиграфический разрез нижнетриасовых отложений скв. Приволье 2П
 1 – песчаник разномерный; 2 – песчаник мелкозернистый; 3 – песчаник алевритистый; 4 – песчаник вулканический; 5 – глина; 6 – алевролит глинистый; 7 – алевролит песчаный; 8 – доломит опесчаненный; 9 – пестроцветность; 10 – стратиграфические перерывы; 11 – образцы, отобранные на палинологический анализ.

К этому следует добавить, что в последнее время подобный спорово-пыльцевой комплекс раннетриасового возраста обнаружен и в скв. ГГК-2 (инт. 450,5–489,1 м), пробуренной в юго-западной части Воронежской антеклизы (рис. 1), о результатах изучения которого будет сообщено в будущем в отдельной публикации.

Библиографические ссылки

1. *Варюхина Л. М.* Споры и пыльца красноцветных и угленосных отложений перми и триаса северо-востока европейской части СССР. Л. : Наука, 1971.
2. *Голубцов В. К., Монкевич К. Н.* Триасовая система // Геология Беларуси / Под ред. А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева и др. Минск : ИГН НАН Беларуси, 2001. С. 273–284.
3. *Голубцов В. К., Монкевич К. Н.* Триасовая система // Стратиграф. схемы докемб. и фанерозой. отложений Беларуси: объясн. зап. / Под ред. С. А. Кручека, А. В. Матвеева, Т. Я. Якубовской и др. Минск : БелНИГРИ, 2010. С. 133–142.
4. *Кручек С. А., Обровец С. М., Левый М. Г.* Об оолитах триасовых отложений Гомельской структурной перемычки // Літасфера. 2007. № 2 (27). С. 76–80.
5. *Малявкина В. С.* Споры и пыльца из триасовых отложений Западно-Сибирской низменности. Л. : Недра, 1964.
6. *Толстошеев В. И., Кручек С. А., Сахарук П. О.* О геологическом развитии Гомельской структурной перемычки и сопредельных структур в коренёвское время раннего триаса // Современ. проблемы геохимии, геологии и поисков полез. ископаемых : материалы Международ. науч. конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. К. И. Лукашёва (1907–1987), 23–25 мая 2017 г. : в 2 ч. / Отв. ред. О. В. Лукашёв. Минск : Право и экономика, 2017. Ч. 1. С. 73–76.
7. *Paleopalynology* (2nd ed.). University of Florida. Quanesville, Florida, 2006. Vol. 28.

УДК 553.632.0(476)

ОЦЕНКА ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ СОЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Н. С. Петрова¹, Н. Ю. Денисова²

¹Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики, пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; belnigri@list.ru

²Научно-производственный центр по геологии, филиал «Институт геологии», ул. Купровича 7, 220141 Минск, Республика Беларусь; denisova@geology.org.by

Рассмотрены закономерности формирования структурно-вещественных комплексов соленосных формаций Припятского прогиба.

Ключевые слова: соленосные формации; вещественно-структурные комплексы; Припятский прогиб.

Диагностические критерии оценки онтогенетических закономерностей формирования структурно-вещественных комплексов по уровням могут быть разделены на категории, которые могут быть обоснованы природными закономерностями общегеологического характера.

В ранге критериев глобального класса оценивается наличие эпох интенсивного и неинтенсивного галогенеза в послепротерозойской истории развития Земли («правило одновременности» Ф. Лотце) [7] с выделением в эволюции вещественного состава калийных пород нижнего палеозойского и верхнего мезозойского этапов. В настоящее время в связи с развитием теории литосферных плит природа этой закономерности объясняется геоструктурным положением солеродных бассейнов. Хлоридные солеродные бассейны с вулканогенно-

галогенными, галогенными и флишоидно-галогенными формациями, обычно калиеносными размещаются в пределах пассивных и активных окраин древних материков [2].

Для закономерностей категории общего уровня важна оценка фациального профиля солеродного палеобассейна и структурно-генетических закономерностей в размещении калийных солей.

Для соленосных бассейнов разных геодинамических типов выделяются две группы диагностических критериев: структурно-вещественные (вещественные, структурные, морфологические и пространственные показатели) и ситуационные (фациально-ландшафтные и эндогенные параметры обстановок) (табл.).

Среди ситуационных показателей, характеризующих обстановки осуществления процессов галогенеза, наибольшее значение имеют *фациально-ландшафтные и эндогенные параметры*. Фациально-ландшафтные особенности геодинамических обстановок и их обрамления указаны *типы седиментационных бассейнов и полные типовые латеральные ряды фациальных обстановок*, что, в свою очередь, позволяет определять вероятные наборы геохимических типов галогенных комплексов, формирующих *латеральный профиль* каждой формации.

В набор *эндогенных параметров* включаются: *тип геодинамических напряжений, тип и мощность земной коры, характер вулканизма, сейсмичность, тепловой поток, контрастность рельефа*.

Для получения сопоставимых количественных оценок для однотипных эндогенных проявлений в разных обстановках, а также для разнотипных в одной и той же обстановке, использована шкала оценки их интенсивности в унифицированных условных единицах, несколько видоизменённая в приложении к задачам настоящей работы. Приведённые количественные оценки эндогенных проявлений получены как усредненные величины из данных, заимствованных из большого числа обобщающих, специализированных и региональных работ. Эти показатели могут служить основанием для поиска и выделения в галогенсодержащих разрезах дополнительных индикаторов, обусловленных различными синседиментационными проявлениями эндогенной активности, прежде всего вулканогенными, сейсмотектоническими, гидротермальными, воздействие которых на седиментационные обстановки пока не только не учитывается, но практически и не обсуждается.

Прежде всего, это относится к вулканизму, сингалогенные проявления которого вполне согласуются с частыми парагенезисами вулканогенных и галогенных образований в разрезах палеобассейнов. Наиболее масштабные сингалогенные вулканогенные комплексы развиты в авлакогенах в разрезах собственно рифтовых стадий (Днепровско-Припятский D₃).

Сингалогенная сейсмичность привлекает ещё меньше внимание исследователей, хотя галогенез новейшего времени связан почти исключительно с регионами высокой сейсмической активности, а её палеопроявления запечатлены во многих особенностях как самих галогенных комплексов (особенно выразительно – в структурно-текстурных признаках ангидритовых тел), так и во вмещающих их отложениях.

Факты высокой активности гидротермальной деятельности и других видов флюидной разгрузки субсинхронных соленакоплению также хорошо согласуются с данными о наличии разнообразных вещественных палеосвидетельств их активности. Имеются реальные аргументы разнообразного влияния на процессы галогенеза синхронной разгрузки флюидов, активизация которой неизбежно сопряжена с любой геодинамической активностью, в том числе авулканогенной.

Составлена таблица ситуационных признаков, основное внимание в которой обращено на фациально-ландшафтные и эндогенные показатели, связанные с конкретной геодинамической обстановкой Припятского внутриконтинентального рифта (табл.). Причиной дискуссионности многих вопросов остаётся ограниченность наших знаний о тех процессах, которые связаны с глубинными зонами Земли.

Таблица – Ситуационные признаки для средневерхнефаменского соленосного бассейна Припятского внутриконтинентального рифта

Классы геодинамических обстановок				1			
Геодинамические виды				2			
Структурно-вещественная характеристика Припятского бассейна	Геохимический тип			3			
	Направленность рядов формаций вверх по разрезу			4			
Структурно-вещественная характеристика типоморфных галогенных формаций	Тип, подтип	Характерные парагенные комплексы		5			
	Мощность, км	Характер залегания		6			
	Форма в плане и разрезе			7			
Обстановки (палеообстановки) формирования	Ландшафтные	Тип седиментационного бассейна		Фациальная зональность	8		
	Эндогенные	Земная кора		Мощность, км	Тип	9	
		Тип геодинамических напряжений		Общая геодинамическая активность, у. е.		10	
		Магматизм		Петротип		Интенсивность, у. е.; характер излияний	11
		Сейсмичность		Магнитуда		Интенсивность, у. е.; глубина очага	12
		Тепловой поток		Плотность, мВт/м ²		Интенсивность, у. е.	13
		Контрастность рельефа, км/у. е.				14	
		Интенсивность флюидовыводящей деятельности, у. е.				15	

Рифтогенные внутриконтинентальные				1
Впадины внутриконтинентальных рифтов				2
Хлоридно-калиево-магниевый				3
Восходящая направленность негалогенных рядов формаций (Т – трансгрессивная, Р – регрессивная); галогенных (литолого-фациальных макротипов): I – калиеносные депрессионно-морские, II – сульфатно-кальциевые мелководно-морские, III – пестрого состава континентально-озёрные)				4
<p style="text-align: center;">Т → Р III → II → I → (II) → I → (III)</p>				
Карбонатно-глинистый тип с 5 подтипами: А – карбонатный, Б – глинисто-карбонатный, В – терригенно-карбонатный, Г – глинистый, Д – терригенный				5
Сероцветные, пестроцветные, вулканогенные, биогенные комплексы				
Мощность 0,п–2(3)км				6
Пластовый дизъюнктивно-пликативнонарушенный				7
Удлиненно-изометричная, грабенообразная, асимметричная (субсимметричная)				8
$m_1O_3 \rightarrow m_2M_b \rightarrow m_3M_b \rightarrow m_4M_b \rightarrow (-L \rightarrow O_3)$ VIA; VII: III-1-III: VI, IIIA-IV				9
Континентальная ЗК, мощность 40–45 км				10
(Р → П → С) / 5: Переход от растяжения (деструкции) к проседанию и затем к сжатию с общей активностью 5 у. е.				11
Щелочно-базальтоидный, щелочно-ультраосновной излияния наземные и морские				12
Магнитуда 6,5 с интенсивностью – 9 у. е. Глубина очага 20 км – мелкая				13
Плотность теплового потока 74–90 мВт/м ² с интенсивностью 5 у. е.				14
0,1–1 км, или 1–2 у. е.				15
5 [6–7]				

Создание диагностической системы предполагает выявление совокупности логически действующих для создания прогностической модели ситуационных показателей, вытекающих из доказательств теоретических положений [1, 2]. Геодинамический режим Припятского осадочного бассейна – деструктивно-дивергентный рифтогенный, рифтогенного внутриконтинентального класса геодинамических обстановок (деструкция исключительно коры континентального типа).

Среди ситуационных показателей, характеризующих обстановки эволюции процессов галогенеза в бассейне, наибольшее значение имеют фациально-ландшафтные и эндогенные параметры, совместный анализ которых уточняет представления об обстановке формирования соленосных формаций и особенностях калийного рудогенеза в Припятском бассейне, а также позволяет более полно воссоздать систему взаимосвязанных и эволюционировавших экзогенных и эндогенных процессов, влиявших на формирование осадочного выполнения бассейна.

Принципы схемы являются базовыми для плитно-тектонических построений, подразделяя моря на окраинные и внутренние, и имеют в виду их окраинное или внутреннее положение по отношению к границам подвижных тектонических поясов. Внутреннее море, характеризующее седиментационный водоём Припятского осадочного бассейна, соответствует шельфовому подтипу с корой континентального типа, и глубинами до 200 м (мелководные), реже до 500–600 м (относительно глубоководные). Континентальному обрамлению обычно соответствуют низменные равнины с мелководными озёрами (равнинно-озёрный тип).

Тип седиментационного бассейна и внутрибассейновая фациально-ландшафтная зональность являются фациально-палеогеографической характеристикой обстановок в зависимости от расположения по отношению к континентальной суше, степени изоляции, глубине и морфологии дна.

Фациально-ландшафтные особенности геодинамических обстановок отмечены в макротипах, однако полные *латеральные ряды фациальных обстановок* позволяют определять вероятные наборы геохимических параметров *седиментационных бассейнов*, формирующих *латеральный профиль* формации: I^a, I^b – батимально-абиссальные и батимальные (дно котловинных морей, континентальный склон), II – внешнего шельфа, III – внутреннего шельфа (IIIА – депрессионные, IIIБ – мелководные), IV – прибрежные лагунно-заливные, V – низменно-равнинно-озёрные, VI – предгорно- или возвышенно-равнинно-озёрные (табл.).

Среди отложений негалогенного ряда для Припятского бассейна выделены: А – карбонатный, Б – глинисто-карбонатный, В – терригенно-карбонатный, Г – глинистый, Д – терригенный подтипы, без количественных градаций для подтипов, т. к. в большинстве случаев невыдержанность их состава отражается на классификационных диаграммах. По наличию специфических комплексов выделены разновидности: а – красноцветно-пестроцветные, б – вулканогенные и туфогенные, в – биогермные и строматолитовые.

Наиболее полно характер фациальных рядов и особенности развития синседиментационных и постседиментационных процессов выражены в краевой зоне солеродного бассейна.

Комплекс вспомогательных признаков – *морфология, мощность, характер залегания, дислоцированность, зональность*, способствует более уверенной оценке подготовительной стадии галогенеза.

Анализ показателей с ориентировочной количественной оценкой приведён в табл. Набор эндогенных параметров включает тип геодинамических напряжений, тип и мощность земной коры, характер вулканизма, сейсмичность, тепловой поток, контрастность рельефа, флюидовыводящую деятельность. Анализ этого комплекса эндогенных показателей проводился на основании опубликованных, специализированных теоретических исследований [2, 3, 5, 6].

О протекавшем синхронно с соленакоплением вулканизме свидетельствуют прослойки чистых туфогенных глин, отмечаемые в соленосной толще верхнефаменского возраста на

12 уровнях [4]. Несомненно, число этих уровней значительно больше, однако в смешанном с нормально-терригенным материалом виде, пирокластика диагностируется крайне трудно [4].

Преобразование пирокластического материала в физико-химической среде солеродного водоёма осуществляется легко, а продукты его преобразования сходны с таковыми для любого другого обломочного материала, поступающего в бассейн соленакопления, т. к. основная роль в аутигенезе принадлежит среде минералообразования [4, 8]. Это в высшей степени важно, т. к. помогает выявить направленность этого процесса и показать роль аутигенеза и его взаимоотношение с аллотигенными компонентами, возможной их трансформацией.

Палеопроявления сейсмичности (сингалогенной) в формировании солёных формаций в Припятском палеорифте запечатлены во многих особенностях галогенных комплексов, особенно выразительно в структурно-текстурных признаках терригенных и ангидритовых тел.

Высокая проницаемость земной коры определила термическую аномалию по всей вертикали до дна бассейна, разгрузку флюидов (вода, летучие, легкоподвижные элементы), активное взаимодействие с породами цоколя, интенсивную метаморфизацию вод бассейна, смешение с водами верхних горизонтов земной коры и внедрение их в седиментационный бассейн.

Соленакопление отражает момент открытия недр и внедрения в бассейн хлоридно-кальциевых вод. Термальные хлоридно-кальциевые воды могли способствовать высаливанию солей ещё до полного насыщения при испарении. Не исключено, что результатом проникновения такого рода вод является формирование Бринёвского месторождения гипса-ангидрита. В бассейне соленакопления под этим влиянием могла возникать расслоенность рапы, когда в верхнем слое существовал слой нормальной океанической воды, а нижний формировался за счёт глубокометаморфизованных растворов хлоридно-кальциевого состава. Независимо от масштабов формирующихся циклов, терригенно-хемогенные осадки являются нормально-морскими.

Признание фактов интенсивности эндогенных проявлений в Припятском бассейне, характеризующемся наиболее масштабным и завершённым галогенезом, необходимо и для генетических построений, в том числе для создания стадияльно-литогенетической модели калийного рудогенеза.

Библиографические ссылки

1. Айзберг Р. Е., Старчик Т. А. Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба. Минск : Беларус. навука, 2013.
2. Беленицкая Г. А. Тектонические аспекты пространственного и временного распределения солёных бассейнов мира // Альм. «Пространство и Время», спец. вып. «Система планета Земля». 2013. Т. 4, № 1. С. 30–60.
3. Беленицкая Г. А., Петров О. В., Соболев Н. Н. Рифовые, солёные и чёрносланцевые формации России. Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер. 2015. Т. 355.
4. Петрова Н. С., Шабловская Р. К. Новые данные о распространённости вулканокластических пород в отложениях верхнефаменской калиеносной субформации Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1986. Т. 30, № 5. С. 464–467.
5. Хуторской М. Д., Тевелева Е. А., Цыбуля Л. А., Урбан Г. И. Тепловый поток в солянокупольных бассейнах Евразии – сравнительный анализ // Георесурсы. 2010. 2 (34). С. 27–34.
6. Цыбуля Л. А., Левашкевич В. Г. Тепловой поток в Припятском прогибе и причины его неоднородности // Геол. журн. 1990. № 4. С. 20–38.
7. Lotze F. Steinsalz und Kalisalze. I Teil (Allgemein-geologischer Teil). Berlin-Nikolassee: Verlag Gebrueder Borntraeger, 1957.
8. Petrova N. S. Pyroclastic rocks in deposits of the potassic subformation of the Pripyat intracontinental palaeorift // Geologia. Quarterly AGH. 2010. Т. 36, N 3. P. 395–406.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ СОЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ ПРИПЯТСКОГО КАЛИЕНОСНОГО БАСЕЙНА

Н. С. Петрова¹, Н. Ю. Денисова²

¹Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики, пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; belnigri@list.ru

²Научно-производственный центр по геологии, филиал «Институт геологии», ул. Купревича 7, 220141 Минск, Республика Беларусь; denisova@geology.org.by

Рассмотрены закономерности формирования структурно-вещественных комплексов соленосных формаций Припятского калиеносного бассейна.

Ключевые слова: диагностические критерии; структурно-вещественные комплексы; соленосные формации; Припятский калиеносный бассейн.

В течение полувека изучения калийного рудогенеза основное внимание обращалось на прогнозно-минерагенические исследования закономерностей распределения залежей калийных солей в Припятском калиеносном бассейне. Фактически была решена задача оценки потенциальной калиеносности.

Выявление диагностических критериев, определение степени ценности каждого из них, необходимости и возможности их комплексирования – неперемное условие изучения калиеносности галогенных формаций, находящихся в разных геологических условиях (табл.). Создание диагностической системы предполагает выявление совокупности логически действующих для создания прогностической модели показателей. Все девонские соленосные формации относятся к хлоридному геохимическому типу хлоридно-кальциевому подтипу, имеют достаточно простой минеральный состав: содержат три соляных минерала – галит, сильвин и карналлит. Среди структурно-вещественных комплексов (СВК) девонских соленосных формаций только средневерхнефаменская толща включает крупные промышленные залежи калийных солей [2, 3].

Создание стадияльно-литогенетической модели калийного рудогенеза на основе детального исследования структурно-вещественных комплексов предполагает переход к новому уровню осмысления связи литогеодинамики и минерагенического потенциала осадочного чехла Припятского прогиба, а в региональном плане должна послужить цели уточнения прогнозно-минерагенического районирования территории на калийные соли и осуществления рациональных управленческих решений по организации мониторинга недропользования и проведению комплексных региональных исследований.

Для анализа путей зарождения, существования и отмирания солеродного бассейна рассмотрена роль геодинамического фактора в формировании архитектуры структурно-вещественных комплексов соленосных формаций хлоридного геохимического типа, развитых в разрезе осадочного чехла Припятского прогиба.

Припятский прогиб входит в подгруппу рифтогенных режимов деструктивно-дивергентной группы [1]. Два сопряжённых показателя: I – тип седиментационного бассейна и II – внутривассейновая фациально-ландшафтная зональность подразумевают фациально-палеогеографическую характеристику обстановок.

При типизации Припятского седиментационного бассейна за основу использована наиболее общепринятая схема деления водоёмов по физико-географическим параметрам в зави-

симости от расположения по отношению к континентальной суше, степени изоляции, глубине и морфологии дна.

Принятые принципы морфоструктурных классификаций содержат определенный тектонический (геодинамический) смысл с учётом плитно-тектонических построений и в целом удовлетворяют задачам создания диагностической системы [4].

Для эволюционирующих условий внутриконтинентальных рифтов характерны трансгрессивные ряды с нарастанием мористости, с тенденцией смены фациально-ландшафтных обстановок от доминирующих мелководных к глубоководным.

Петрофонд соленосных формаций имеет двоякий смысл: с одной стороны (и прежде всего), это источник жидкой фазы и её состав, понимая источник солей и влияние десцендентных и асцендентных растворов; с другой (особенно для хемогенно-терригенных отложений) – привнос терригенного материала и его накопление в определенной палеогеографической обстановке, обладающей необходимой устойчивостью (или изменчивостью в определенных пределах) в соответствующей геодинамической обстановке [2, 3]. Седиментационный водоём в период формирования средневерхнефаменской формации Припятского палеорифта рассматривается в ранге внутриматерикового глубоко вдающегося в материк, окруженного материковой сушей, и частично связанный с океаном. Как известно, важную группу среди водоёмов, не имеющих гидрологических связей с океаном, по сути эволюционную разновидность внутренних морей шельфового подтипа с корой континентального типа с глубинами до 200 м (мелководное), образуют крупные озёра (морья-озёра), потерявших связи с океаном вследствие тектонических перестроек.

В континентальном обрамлении шельфовых морей чаще, хотя и не всегда, развиты низменные (тектонически более стабильные) равнины с мелководными озёрами (равнинно-озёрный тип). В краевых частях бассейна расположены собственно лагуны, озёра, часто пространственно связанные между собой взаимопереходами и сменяющие друг друга во времени.

В депрессионных останковках отмечаются осложнения дна, типичные именно для соленакпления и нафтидогенерации, проявляющихся в субаквальных условиях. В субаэральных условиях осадконакопления повышенная сульфатоносность сочетается с красноцветностью (пестроцветностью) и характерны для западных и северных краевых частей Припятского прогиба [3].

Среди вещественных характеристик наиболее важен геохимический тип галогенных составляющих, который включает и минерагеническую информацию. Набор вещественных признаков играет ведущую роль в диагностике геодинамической природы обстановок.

Состав негалогенных компонентов содержит дополнительную весьма важную и разностороннюю информацию, т. к. включает характерные парагенные комплексы: биогермные, высокоуглеродистые, красноцветные, вулканогенные [1]. В осадочном выполнении Припятского калиеносного бассейна среди парагенных комплексов преобладают карбонатно-глинистые отложения, наряду с которыми распространены ограниченно распространенные специфические комплексы, выделяемые в качестве литологических раритетов. Среди негалогенных компонентов в составе галогенных формаций карбонатно-глинистые чаще рассматриваются основными, исходя из мощности, однако специфические комплексы наиболее значимы при оценке онтогенетических закономерностей.

На фоне растяжения и деструкции в общем случае формируются трансгрессивные ряды с нарастанием мористости обстановок, полноты и масштаба галогенеза, с тенденцией смены макротипов $III > II > I$, на фоне сжатия с локальным растяжением – регрессивные, с обратными последовательностями; на фоне проседания, активного прогибания – ряды с нечёткой направленностью.

Эндогенный фон обстановок осадконакопления в солеродных бассейнах Припятского прогиба может быть рассмотрен на основе сочетания различных проявлений: сейсмическая и

вулканическая активность, плотность теплового потока, амплитуда и контрастность вертикальных и горизонтальных движений коры, а также флюидная активность. В определённой степени всё выше сказанное создает предпосылки для рассмотрения геотермического поля как фактора, формирующего тектонические и ресурсные особенности развития соляных структур.

Таблица – Основные диагностические критерии, используемые при исследовании структурно-вещественных комплексов соленосных формаций разной полноты и завершенности процесса галогенеза на основе оценки характера пространственно-временных взаимоотношений галогенных и негалогенных парагенетических ассоциаций

№	Категория*	Диагностические критерии	Диагностические критерии, используемые при оценке структурно-вещественных комплексов соленосных формаций Припятского прогиба
1	I	<i>Палеогеодинамическая обстановка</i>	
1.1	I	Положение бассейна с позиции геодинамического режима	Рифтогенная внутриконтинентальная структура, относящаяся к деструктивно-дивергентной группе палеогеодинамических обстановок
2	I	<i>Стратиграфическое положение</i>	
2.1	I	Принадлежность к галогенной формации определенного возраста – совпадение с правилом одновременности	Девонские соленосные формации хлоридного типа, принадлежащие к эпохе калиенакопления
2.2	IV	Наличие стратиграфических подразделений низкого порядка, существующих в других регионах в виде крупных скоплений	Пермская сульфатно-хлоридная формация
3	I	<i>Тектоническая приуроченность</i>	
3.1	II	Приуроченность соленосной формации к крупной тектонической структуре	Приуроченность к структуре первого порядка – Припятскому прогибу
3.2	II	Размещение соленосной формации в наиболее погруженных зонах крупной тектонической структуры на основе оценки мощностей формации	Увеличение мощности соленосных формаций на северо-востоке и востоке прогиба
3.3	IV	Характер размещения конкретного седиментационного цикла калийного рудогенеза в наиболее погруженных зонах	Размещение наиболее полных разрезов калийных горизонтов в депрессионных зонах
4	I	<i>Структурные особенности</i>	
4.1	I	Цикличность	Полицикличные соленосные формации девонского возраста
4.2	I	Латеральная зональность	Латеральный ряд соответствует направленности изменений в ходе эволюции геодинамического типа
4.3	II	Тектоническая осложненность	Пликативно-блоковая модель, наличие унаследованных тектонических дизъюнктивных нарушений
5	II	<i>Стадийность и полнота развития формации</i>	
5.1	II	Наличие в разрезе СВК пород завершённых циклов галогенной седиментации	Завершённость галогенной седиментации определяется наличием горизонтов калийных и калийно-магниевого пород. Любая пачка разреза калиеносной субформации могла включать калие-проявление разного иерархического уровня. При этом изменчивость калие-проявлений связана с уровнем фациальной изменчивости вмещающих соленосных отложений
6	I	<i>Палеоседиментационная обстановка соленакпления</i>	
6.1	II	Климатические ограничения	Аридный и семиаридный климат
7	II	<i>Тип бассейна</i>	
7.1	II	Принадлежность к галогенной формации, возникшей в тупиковом бассейне	Характерная особенность Припятского бассейна, как тупикового тройного окончания Припятско-Днепровско-Донецкого грабена
7.2	II	Принадлежность к системе бассейнов галогенной седиментации, имевшей подготовительный бассейн	Не относится
8	III	<i>Источники питания</i>	Морская вода, рассолы десцендентного и асцендентного вращения элементов в цикл седиментации, континентальное питание
9	III	<i>Тип циркуляции вод бассейна</i>	Антиэстуариевый, или лагунный, тип циркуляции
10	III	<i>Фациально-ландшафтная зональность</i>	
10.1	IV	Петрофонд и палеогеографическая обстановка	Окружающая суша: преобладание рециклитной составляющей на севере прогиба и терригенной на юге, приток морских вод разной солёности с востока (Днепровско-Донецкий грабен) и юго-запада (Львовская мульда)
10.2	II	Фациальный профиль	Смена менее растворимых солей более растворимыми от края бассейнов к их центральной части

Продолжение табл.

№	Категория*	Диагностические критерии	Диагностические критерии, используемые при оценке структурно-вещественных комплексов соленосных формаций Припятского прогиба
10.3	IV	Степень контрастности латерального ряда	Нарушенный симметричный латеральный ряд разной степени контрастности в зависимости от типа маргинальных зон
10.4	IV	Степень фациальной изменчивости	Определяется структурным планом и батиметрическими особенностями дна бассейна
11	IV	<i>Структурно-морфологические особенности объектов калиенакопления</i>	
11.1	IV	Характер чередования слоёв, их мощность, степень выдержанности на площади	В калийных залежах красноцветной ассоциации характер чередования слоёв, степень выдержанности на площади высокая, мощность варьирует
11.2	IV	Приуроченность горизонтально залегающих пластов пликативно-дизъюнктивного типа	Моноклиально залегающие пласты в зонах развития ступеней обнаруживают структуры пликативного одностороннего сжатия не полностью литифицированного вещества
11.3	III	Влияние солянокупольных структур на структурно-морфологические особенности и размещение калийных пластов	
11.4	III	Характер слагающих формацию продуктивных пластов	Однопластовые и многопластовые залежи
11.5	III	Наличие калийного горизонта, пользующегося максимальным латеральным развитием и наиболее продуктивным	Многопластовый калийный горизонт III с карналлитовым пластом, расположенный в Северной зоне и территориально коррелируемый с горизонтом V-п в Центральной зоне
12	I	<i>Гидрогеологические и гидрохимические критерии</i>	
12.1	I	Наличие мощной водозащитной толщи	Мощность более 50 м, включая соляные отложения и надсолевою толщю
12.2	II	Наличие в галогенных формациях высокоминерализованных рассолов (седиментационных и выщелачивания)	Седиментационные рассолы в соленосных толщах, рассолы выщелачивания в надсолевых отложениях
12.3	I	Соответствие состава рассолов генетическим гидрохимическим показателям	Тренды изменчивости состава сохраняются, но по стадиям уменьшено содержание Вг и Mg, увеличено содержание К
13	IV	<i>Минералогические (типоморфные компоненты галогенного и негалогенного ряда)</i>	
13.1	IV	Определённый набор пород	Галогенный ряд: каменная соль, сильвинит, карналлитит, негалогенный ряд: карбонатно-глинистая матрица, сульфатно-карбонатная порода, биохомогенные карбонаты, терригенные (песчаник, алевролит)
13.2	IV	Сочетание и распределение пород в разрезе	Циклическое чередование соляных и негалогенных пачек, характеризующее регрессию и трансгрессию
13.3	IV	Количественное соотношение пород	Среднее значение соотношения пород галогенного и негалогенного ряда в разрезах Северного ареала структурных форм 30 и 70 %, в разрезах Центрального ареала – 40 и 60 %
13.4	IV	Терригенно-минералогические критерии	Преобладают минералы, обладающие высокой гидромеханической и низкой химической устойчивостью: чёрные рудные минералы, гематит, гидроокислы Fe
13.5	IV	Индикаторы глубоководности бассейна	Полностью аргументированные доказательства отсутствуют, хотя о них может свидетельствовать горизонтально-параллельная слоистость пород
13.6	IV	Индикаторы вулканической, гидротермальной деятельности	12 уровней вулканических туфов в разрезе калиеносной субформации, минералы, связанные с гидротермальной деятельностью в основном в нерастворимых остатках соляных пород галитовой субформации
13.7	IV	Распределение геохимических индикаторов в соляных породах (Br, Rb)	Содержание Вг в галите характеризует направленное развитие галогенной седиментации в бассейне, площадное распространение свидетельствует о росте содержания Вг с запада на восток.

* – Ранг категорий диагностических признаков: I – обязательные, II – характерные, III – дополнительные, IV – частные.

Библиографические ссылки

1. Беленицкая Г. А. Соли Земли: тектонические, кинематические и магматические аспекты геологической истории. М. : ГЕОС, 2020.
2. Девонские соленосные формации. Минск : Наука и техника, 1981.
3. Калийные соли Припятского прогиба. Минск : Наука и техника, 1984.
4. Романовский С. И. Литогеодинамика осадочных бассейнов. СПб. : ВСЕГЕИ, 1996.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПАЛЕОВОДОЁМА РУБА В БЕЛАРУСИ

Я. К. Еловичева

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; yelovicheva@yandex.ru

Показано, что накопление озёрно-болотных образований в палеоводоёме Руба происходило в александрийское межледниковье, в условиях неустойчивого водного режима, в его прибрежной части, быстрее реагирующей на смену осадков и соответствующий состав захороненных в них пыльцы и спор.

Ключевые слова: палеоводоём; спорово-пыльцевой анализ; Беларусь.

Разрез расположен в 12 км от г. Витебска, у п. г. т. Руба Витебского р-на Витебской обл. Беларуси, в стенке карьера на абсолютной высоте 158 м над уровнем моря, на 55°17'41" с.ш., 30°16'30" в. д., на левобережье р. Западная Двина. В 1979 г. в расчистке 1 по описанию Ю. А. Лаврушина сверху вниз вскрыты следующие отложения (глубина в м):

1.	h Q ₂ -a	Торф чёрный, очень плотный (образец 8 с/н)	0,0–0,10
2.	h Q ₂ -a	Торф очень чёрный (обр. 6-7 с/н)	0,10–0,28
3.	l Q ₂ -a	Песок тёмно-серый, сильно гумусированный, с растительными остатками, с коркой ожелезнения (обр. 5 с/н)	0,28–0,40
4.	l Q ₂ -a	Песок серый, гумусированный (обр. 4 с/н)	0,40–0,49
5.	a Q ₂ -a	Супесь тёмно-серая, гумусированная, с растительными остатками (обр. 3 с/н)	0,49–0,60
6.	l Q ₂ -a	Супесь тёмно-серая (обр. 2 с/н)	0,60–0,70
7.	l Q ₂ -a	Глина серая (обр. 1 с/н)	0,70–0,77
8.	gl Q ₂ -br	Супесь моренная, тёмно-серая	0,77–0,80

С гл. 0,0–0,77 м Ю. А. Лаврушиным отобрано 8 образцов на спорово-пыльцевой анализ, выполненный Я. К. Еловичевой в 1979 г. На полученной палинологической диаграмме (рис. 1) выделено 6 палинокомплексов (ПК), которые соответствуют изменению состава спектров по разрезу, фазам развития растительности на окружавшей палеоводоём территории в течение времени накопления древнеозёрной толщи осадков.

ПК-1 из глины на гл. 0,70–0,77 м содержит абсолютный максимум пыльцы древесных пород (96%) при малом участии пыльцы травянистых растений (3 %) и споровых (1 %). Среди древесных пород характерен абсолютный максимум *Betula sect. Albae* (77 %) наряду с небольшим содержанием *Pinus* (21 %), *Alnus* (1 %), *Picea* (1%), а также *Picea sect. Omorica*, *Larix*, *Ulmus*, *Corylus* (0,5 %), *Salix* (0,5 %). Группа наземных травянистых растений складывается единичными *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Gramineae*, *Asteraceae*, *Ranunculaceae* (в т. ч. *Thalictrum*), *Caryophyllaceae*, *Caprifoliaceae* (в т. ч. *Sambucus*), из водно-болотных *Typha angustifolia*, *Ericales*. В составе споровых доминируют *Polypodiaceae* (60 %) над *Sphagnum* (35 %), *Lycopodiaceae* (5 %, в т. ч. *Lycopodium complanatum*, *L. annotinum*), из водорослей споридичны *Pediastrum*, *Ovoidites*. Состав ПК-1 характеризует широкое распространение берёзовых ассоциаций с участием сосны, лиственницы в умеренных климатических условиях начала александрийского межледниковья – фаза а-1.

ПК-2 из супеси на гл. 0,49–0,70 м сохраняет преобладание пыльцы древесных пород (73–88 %) над пыльцой травянистых растений (до 3 %) и спорами (12–24 %). В группе древесных пород ведущее место принадлежит *Pinus* (50–59 %, в т. ч. *Pinus sect. Strobus*) при большой роли *Picea* (30–35 %, в т. ч. *Picea sect. Omorica*), снижении значений *Betula sect. Albae* (7–9 %), участии *Alnus* (5 %), а также *Larix* (0,5–1 %), *Ulmus* (1 %), *Corylus* (0,5 %), *Viburnum* (0,5 %). Среди наземных травянистых растений отмечены *Gramineae*, из водно-

болотных *Typha latifolia*. В группе споровых сохраняют свое господство *Polypodiaceae* (86–88 %) над *Sphagnum* (10–14 %), *Lycopodiaceae* (2 %, в т. ч. *Lycopodium annotinum*), редки водоросли *Pediastrum*, *Fossombronia*. ПК-2 знаменует развитие хвойных (сосново-еловых) с лиственницей и берёзой, появление мезо- (ольхи) и термофильных (вяз, орешник) пород в умеренных климатических условиях начала александрийского межледниковья – фаза а-2-а-в.

ПК-3 из песка на гл. 0,40–0,49 м отличается снижением доли пыльцы древесных пород (53 %) за счёт повышения значений споровых (44 %) над пылью травянистых растений (3 %). Из древесных пород абсолютный максимум принадлежит *Picea* (53 %, в т. ч. *Picea sect. Omorica*) при уменьшении содержания *Pinus* (32 %), *Betula sect. Albae* (4 %), сохранения доли *Alnus* (4 %), *Ulmus* (1 %), появления *Abies* (1 %), *Quercus* (1 %). Группа наземных травянистых растений складывается единичными *Artemisia*, *Gramineae*, *Polygonaceae*, из водно-болотных *Typha latifolia*. Из споровых абсолютного максимума достигли *Polypodiaceae* (97 %) наряду с присутствием *Sphagnum* (3 %), *Lycopodiaceae* (1 %, в т. ч. *Lycopodium annotinum*). В данном интервале отмечены переотложенные растительные микрофоссилии плохой сохранности. ПК-3 характеризует широкое распространение хвойных (еловых и сосновых) с пихтой, участием берёзы, ольхи, дуба в умеренно-тёплых условиях начала оптимума александрийского межледниковья – фаза а-3-а.

ПК-4 из песка на гл. 0,28–0,40 м свидетельствует об увеличении содержания пыльцы древесных пород (73 %) и пыльцы травянистых растений (5 %) наряду со снижением значений споровых (22 %). Древесные знаменуют абсолютный максимум *Alnus* (45 %) на фоне увеличения роли *Betula sect. Albae* (27 %), *Quercetum mixtum* + *Carpinus* (6 %, в т. ч. *Quercus* – 3 %, *Carpinus* – 3 %), *Abies* (6 %) за счёт уменьшения количества *Picea* (5 %), *Pinus* (12 %), единичных *Corylus* (0,5 %), *Salix* (1 %). Из наземных травянистых растений встречаются *Umbelliferae*, *Artemisia*, *Caprifoliaceae* (1 %, в т. ч. *Sambucus*), *Polygonaceae*, *Gramineae*, из водно-болотных *Cyperaceae*, *Typha latifolia*, *Ericales*. Сохраняют свое преобладание *Polypodiaceae* (95 %) при малой значимости *Sphagnum* (5 %). Единичны водоросли *Ovoidites*, *Tetraporina*. В данном интервале выявлены переотложенные растительные микрофоссилии плохой сохранности. ПК-4 отличается развитием ольшаников и берёзовых ассоциаций с участием широколиственных пород (дуба, граба, орешника, а также хвойных – ели, сосны, пихты) в тёплых условиях оптимума александрийского межледниковья – фаза а-3-в.

ПК-5 из торфа на гл. 0,10–0,28 м знаменует абсолютный максимум споровых (40–57 %) при уменьшении количества пыльцы древесных пород (41–59%) и пыльцы травянистых растений (1–2 %). В составе древесных заметно повышение значений *Pinus* (28–63 %, в т. ч. *Pinus sect. Strobus*), *Picea* (8–19 %, в т. ч. *Picea sect. Omorica*), *Abies* (абсолютный максимум 8–11 %) и широколиственных пород (*Quercetum mixtum* + *Carpinus* – 3–9 %, в т. ч. *Quercus* – 1–3 %, *Tilia* – 1 %, *Carpinus* – 2–5 %) наряду с уменьшением роли *Betula sect. Albae* (4–12 %), *Alnus* (11–24 %) при небольшом участии кустарниковых *Corylus* (1–0,5 %). Среди наземных травянистых растений выявлены *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Gramineae*, из водно-болотных *Typha angustifolia*. По-прежнему не утратили своего доминирования *Polypodiaceae* (82–85 %), несколько повысилась доля *Sphagnum* (14–17 %), *Lycopodiaceae* (1 %, в т. ч. *Lycopodium inundatum*), *Salvinia natans* (1 %). Единичны водоросли *Fossombronia*, *Tetraporina*. ПК-5 характеризует распространение сосновых лесов с примесью ели и пихты, берёзы, участием дуба, липы и граба, ольшаников, в подлеске орешника в тёплых условиях оптимума александрийского межледниковья – фаза а-3-с.

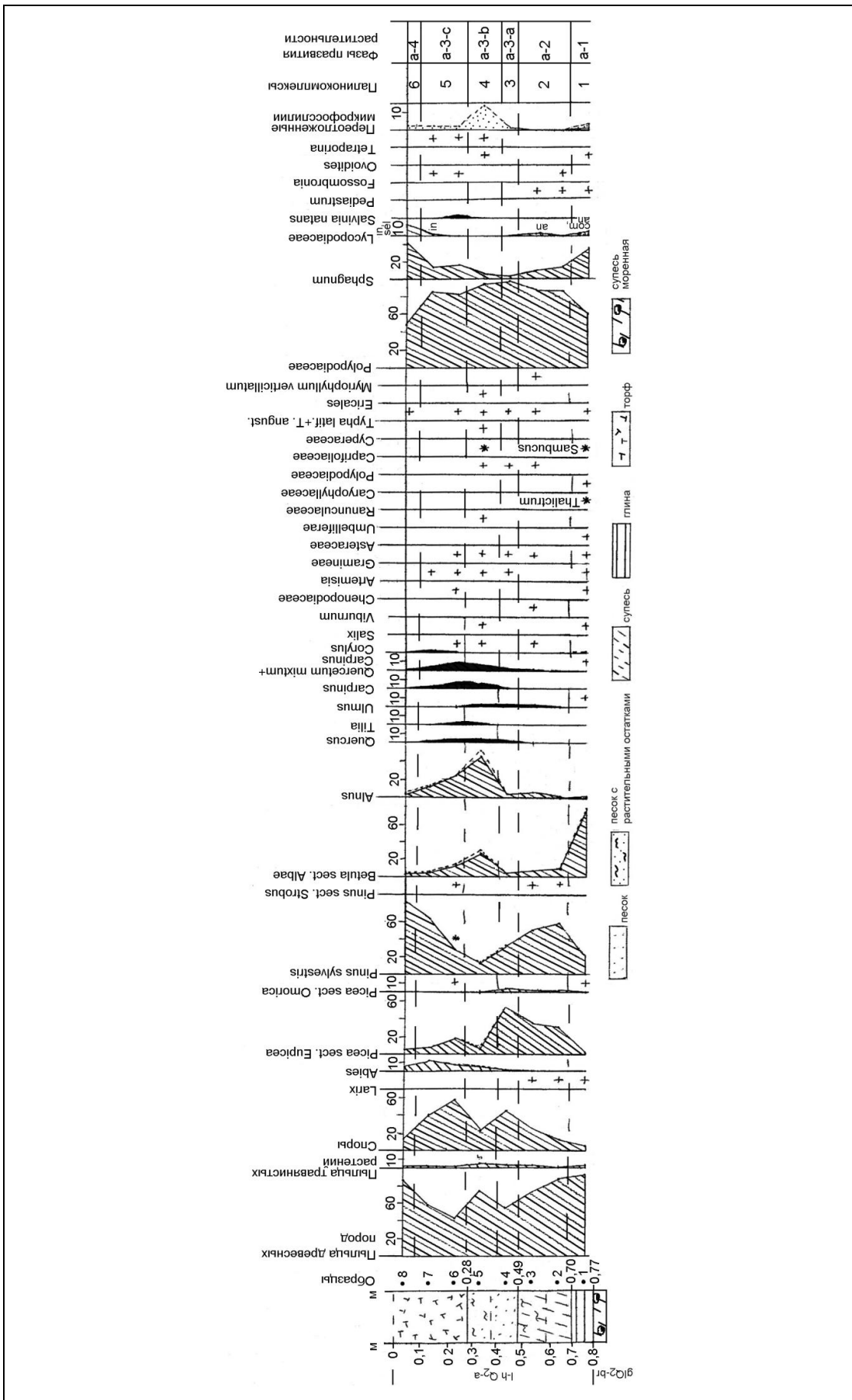


Рисунок 1 – Палинологическая диаграмма древнеозёрных отложений у п. г. Руба (расчётка 1)
 Анализ Я. К. Еловичевой по материалам Ю.А. Лаврушина.

ПК-6 из торфа на гл. 0,0–0,10 м отличается резким возрастанием содержания пыльцы древесных пород (87 %) за счёт снижения количества пыльцы травянистых растений (1 %) и споровых (12 %). Группа древесных пород слагается абсолютным максимумом *Pinus* (86 %) на фоне уменьшения всех прочих компонентов спектра: *Picea* (6 %), *Abies* (6 %), *Betula sect. Albae* (3 %), *Alnus* (3 %), *Corylus* (1 %). Из травянистых растений отмечены водно-болотные *Typha angustifolia*. В составе споровых отмечено уменьшение содержания *Polypodiaceae* (48 %) за счёт увеличения роли *Sphagnum* (41 %), *Lycopodiaceae* (11 %, в т. ч. *Lycopodium inundatum*, *L. selago*). ПК-6 знаменует широкое развитие сосновых лесов с небольшим участиме ели, пихты, берёзы, ольхи, орешника в умеренно-тёплых условиях постооптимального интервала александрийского межледниковья – фаза а-4.

Отличительными особенностями палинологической характеристики отложений в разрезе Руба (расч. 1) являются: классический цикл осадконакопления (морена–глина–супесь–пески–торф) осложняется интервалом песка, что свидетельствует о прерывании устойчивого режима на более динамичный; слой торфа мощностью в 0,4 м завершает исследуемый разрез и отражает зарастание водоёма в постооптимальную фазу; последовательность максимумов основных лесообразующих пород (как выражение макросукцессии палинофитоценозов данного разреза) имеет вид – (*Betula* + *Larix*) → (*Pinus* + *Picea* + *Larix*) → (*Picea* + Spores) → (*Betula* + *Alnus* + *Quercetum mixtum*) → (Spores + *Abies* + *Alnus* + *Quercetum mixtum*) → *Pinus*; высокое содержание споровых в оптимум и доминирование древесных пород как свидетельство межледникового типа спектров; доминирование хвойных (*Pinus*, *Picea* с участием *Abies* и *Larix*) в сочетании с ольхой – как принадлежность растительных ассоциаций к александрийскому межледниковью; небольшая выраженность оптимума (9 %) и практически одновременная кульминация широколиственных пород (*Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Carpinus*), *Alnus* и *Corylus*; небольшое проявление максимума *Abies* – 8–11 %; по составу экзотических (*Picea sect. Omorica*, *Pinus sect. Strobus*, *Abies*, *Larix*) и редковстречаемых (*Salvinia natans*) видов ископаемая флора близка александрийскому межледниковью.

Указанное отражает, что накопление озёрно-болотных образований происходило в александрийское межледниковье, в водоёме Руба с неустойчивым водным режимом, и, скорее всего, в его прибрежной части, быстрее реагирующей на смену осадков и соответствующий состав захороненных в них пыльцы и спор. Исследованные на палинологический анализ осадки в разрезе отобраны из краевой части ископаемой толщи.

В расчистке 2 того же карьера по описанию Ю. А. Лаврушина органогенная толща залегает внутри чешуи и сверху вниз представлена следующими отложениями (глубина в м):

1.	lgl Q ₂ -dn-s	Супесь серая (образцы 17-18 с/н)	0,00–0,35
2.	lgl Q ₂ -dn-s	Супесь тёмно-коричневая, книзу гумусированная (обр. 13-16 с/н)	0,35–1,00
3.	lgl Q ₂ -dn-s	Песок светло-серый, мелкозернистый (обр. 10-12 с/н)	1,00–1,55
4.	h Q ₂ -a	Торф светло- и тёмно-коричневый (обр. 5-9 с/н)	1,55–2,00
5.	h Q ₂ -a	Торф (обр. 4 с/н)	2,00–2,05
6.	h Q ₂ -a	Торф с крупной древесиной (обр. 3 с/н)	2,05–2,20
7.	l Q ₂ -a	Песок тёмно-серый (обр. 2 с/н)	2,20–2,35
8.	l Q ₁ -a	Песок белесовато-серый (обр. 1 с/н)	2,35–2,45

С гл. 0,0–2,45 м Ю. А. Лаврушиным отобрано 18 образцов на спорово-пыльцевой анализ, выполненный Я. К. Еловичевой в 1979 г. На полученной палинологической диаграмме (рис. 2) выделено 13 палинокомплексов (ПК), которые соответствуют изменению состава спектров по разрезу, фазам развития растительности на окружающей палеоводоём территории в течение времени накопления древнеозерной толщи осадков.

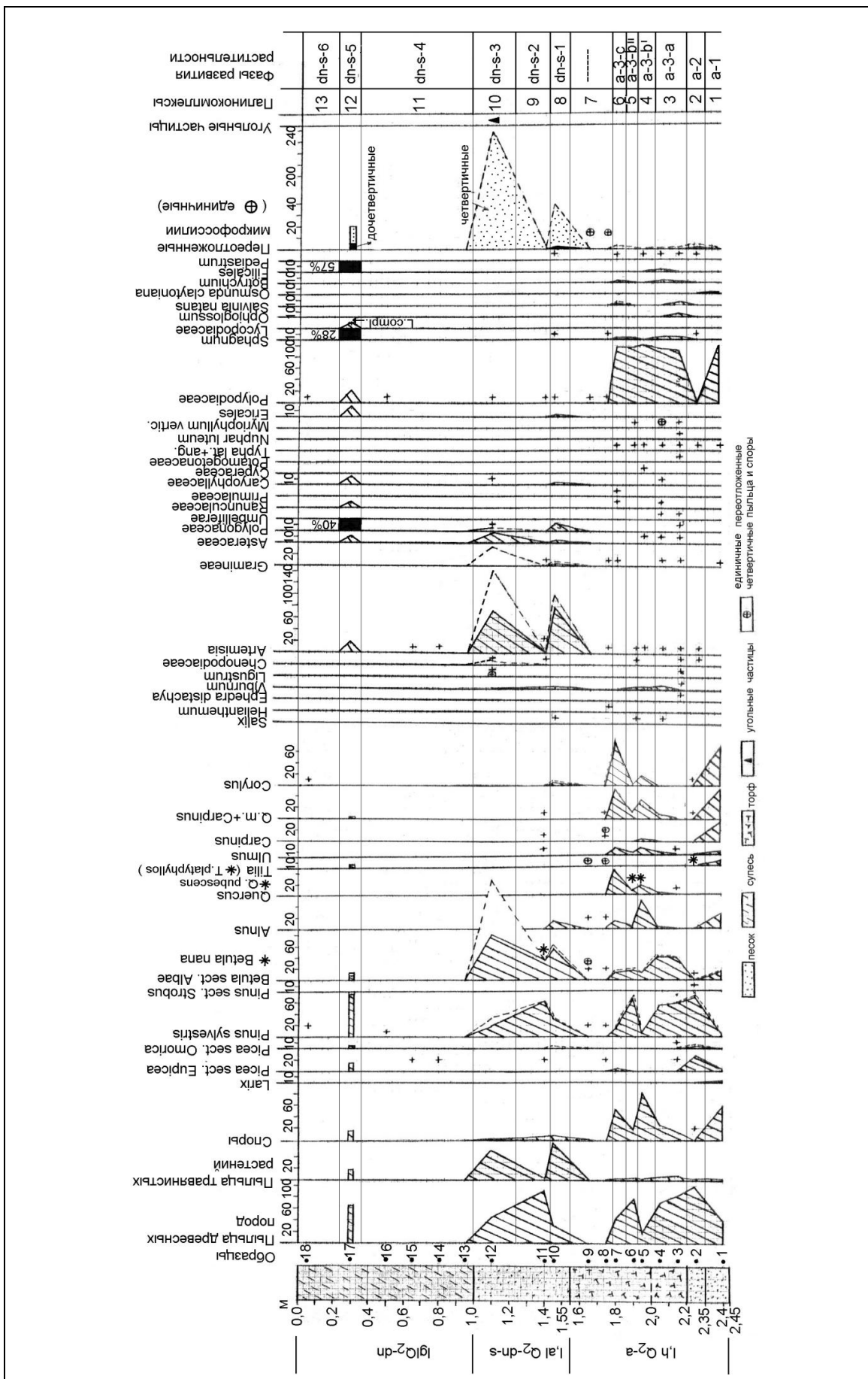


Рисунок 2 – Палинологическая диаграмма древнеозёрных отложений у п. г. Руба (расчистка 2)
 Анализ Я. К. Еловичевой по материалам Ю. А. Лаврушина.

ПК-1 из песка на гл. 2,35–2,45 м содержит максимум споровых (59 %) и высокие значения пыльцы древесных пород (40%) при весьма малом участии пыльцы травянистых растений (1 %). Среди древесных пород характерны одновременные максимумы мезо- (*Alnus* – 24 %) и термофильных (*Quercetum mixtum* + *Carpinus* = 54 %, в т. ч. *Tilia* – 10 %, *Ulmus* – 5 %, *Carpinus* – 39 %, *Corylus* – 64 %) пород, которые в данном типе осадков скорее всего, могут быть переотложенными. Более инсигным представляется нахождение в песках *Betula sect. Albae* (13 %) наряду с *Pinus* (4 %), *Picea* (4 %), *Larix* (1 %). Наземные травянистые растения представлены единичными *Gramineae*, а водно-болотные – *Typha latifolia*. В составе споровых доминируют *Polypodiaceae* (99%), *Osmunda claytoniana* (1 %). ПК-1 характеризует распространение берёзовых ассоциаций с участием сосны, ели и лиственницы в умеренных климатических условиях начала александрийского межледниковья – фаза а-1.

ПК-2 из песка на гл. 2,20–2,35 м отличается более устойчивым режимом осадконакопления без сильно намыва растительных микрофоссилий, в общем составе которых абсолютный максимум принадлежит пыльце древесных пород (98 %) за счёт малой роли пыльцы травянистых растений (2 %) и споровых (1 %). Из древесных абсолютных значений достигли *Picea* (27 %, в т. ч. *Picea sect. Omorica*), *Pinus* (70 %, в т. ч. *Pinus sect. Strobus*) наряду с малой величиной *Betula sect. Albae* (0,5 %), *Tilia* (0,5 %, в т. ч. *Tilia platyphyllos*), *Corylus* (0,5 %). Из наземных травянистых растений выявлены единичные *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, из водно-болотных – *Typha latifolia*. В составе споровых отмечено зерно *Sphagnum*, из водорослей – *Pediastrum*. ПК-2 знаменует развитие хвойных (сосново-еловых) лесов с берёзой в умеренных климатических условиях начала александрийского межледниковья – фаза а-2.

ПК-3 из торфа на гл. 2,00–2,20 м свойственно преобладание пыльцы древесных пород (70–81 %) наряду с возросшим содержанием споровых (13–25 %) и пыльцы травянистых растений (5–6 %). В группе древесных пород на фоне доминирования *Pinus* (53–60%) существенно повысилось количество *Betula sect. Albae* (38–40 %), в меньшей мере *Alnus* (1 %), *Quercetum mixtum* (1–6 %, в т. ч. *Quercus* – 0,5–2 %, *Ulmus* – 0,5–4 %) за счёт снижения величины *Picea* (0,5 %, в т. ч. *Picea sect. Omorica*), кустарниковые слагаются *Salix* (0,5 %), *Ligustrum* (0,5 %), *Ephedra distachya* (0,5 %), *Viburnum* (0,5–5 %). Группу травянистых растений отличает разнообразие наземных представителей из *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Umbelliferae*, *Ranunculaceae*, *Gramineae*, *Caryophyllaceae*, *Asteraceae*, *Polygonaceae* (в т. ч. *Polygonum amphibium*), из водно-болотных – *Potamogeton*, *Typha angustifolia*, *Nuphar luteum*, *Myriophyllum verticillatum*. Из споровых преобладают *Polypodiaceae* (90–94 %, в т. ч. *Polypodium vulgare*), наряду с присутствием *Sphagnum* (3 %), *Ophioglossum* (3 %), *Salvinia natans* (3 %), *Botrychium* (1,5 %), *Filicales* (1,5 %), среди водорослей – *Pediastrum*. ПК-3 характеризует распространение сосново-берёзовых лесов с участием ольхи, дуба и вяза в умеренно-тёплых климатических условиях начала александрийского межледниковья – фаза а-3-а.

ПК-4 из торфа на гл. 1,92–2,00 м присуще абсолютное господство споровых (82 %) за счёт уменьшения значений пыльцы древесных пород (17 %) и пыльцы травянистых растений (1 %). Группа древесных пород слагается *Alnus* (50 %), *Quercetum mixtum* + *Carpinus* (32 %, в т. ч. *Quercus* – 18 %, *Quercus pubescens*, *Ulmus* – 11 %, *Carpinus* – 3 %), наряду с уменьшением количества *Pinus* (7 %), *Betula sect. Albae* (11 %), из кустарниковых характерны *Corylus* (18 %), *Viburnum* (3 %). Весьма малочислен состав наземных травянистых растений из *Artemisia*, *Asteraceae* и из водно-болотных – *Cyperaceae*, *Typha angustifolia*. Споровые представлены исключительно *Polypodiaceae* (100 %), водоросли – *Pediastrum*. ПК-4 знаменует развитие берёзово-широколиственных (дуб, вяз, граб) лесов с сосной, ольшаников в тёплых климатических условиях оптимума александрийского межледниковья – фаза а-3-б'.

ПК-5 из торфа на гл. 1,87–1,92 м характеризуется возрастанием содержания пыльцы древесных пород (77 %) и пыльцы травянистых растений (4 %) наряду с сокращением доли споровых (19 %). Древесные представлены преимущественно *Pinus* (68 %) наряду с умень-

шением содержания *Betula sect. Albae* (17 %), *Alnus* (3 %), *Quercetum mixtum* (11 %, в т. ч. *Quercus* – 7 %, *Quercus pubescens*, *Ulmus* – 7 %), *Corylus* (1 %), *Salix* (1 %), *Viburnum* (3 %). Из травянистых растений обнаружены представители водно-болотных мест обитания – *Typha angustifolia*, *Myriophyllum verticillatum*. В составе споровых *Polypodiaceae* (99 %) преобладают над *Sphagnum* (1 %). ПК-5 характеризует широкое распространение сосново-широколиственных с берёзой (дуб, вяз) лесов с ольхой в тёплых климатических условиях оптимума александрийского межледниковья – фаза а-3-в".

ПК-6 из торфа на гл. 1,80–1,87 м свойственна высокая роль споровых (54 %) и пыльцы древесных пород (44 %) за счёт снижения роли пыльцы травянистых растений (2 %). В группе древесных резко возросло количество *Quercetum mixtum* (55 % – абсолютный максимум, в т. ч. *Quercus* – 43 %, *Ulmus* – 12 %), а также *Alnus* (12 %), *Corylus* (80 % – абсолютный максимум), *Picea* (2 %) при уменьшении содержания *Pinus* (18 %), *Betula sect. Albae* (11 %). Среди травянистых растений встречены наземные *Primulaceae*, *Ranunculaceae*, *Gramineae* и водно-болотные – *Typha angustifolia*. Из споровых сохраняет ведущее место *Polypodiaceae* (98 %) наряду с участием *Sphagnum* (1 %), *Salvinia natans* (1 %). Постоянны водоросли *Pediastrum*. ПК-6 знаменует развитие широколиственных (дубово-вязовых) лесов с сосной, берёзой с хорошо развитым подлесочным ярусом из орешника, ольшаников в тёплых климатических условиях оптимума александрийского межледниковья – фаза а-3-с.

ПК-7 из торфа на гл. 1,55–1,80 м отличается единичным присутствием пыльцы *Pinus*, *Picea*, *Betula*, *Alnus*, *Carpinus*, *Corylus*, *Helianthemum*, *Artemisia*, *Gramineae* и спор *Polypodiaceae*, *Sphagnum*, среди которых единичны зёрна плохой сохранности. ПК-7, по-видимому, свидетельствует о перемыче верхней части торфа в постоптимальный интервал александрийского межледниковья.

ПК-8 из песка на гл. 1,40–1,55 м отмечен абсолютным максимумом пыльцы травянистых растений (63 %) на фоне большой роли пыльцы древесных пород (30 %) и снижением значимости споровых (7 %). Среди древесных преобладает *Betula sect. Albae* (57 %), много *Pinus* (32 %), присутствуют *Picea* (0,5 %, в т. ч. *Picea sect. Omorica*), *Alnus* (11 %), *Corylus* (4 %), *Salix* (2 %), *Viburnum* (2 %). Группу травянистых растений отличает господство наземных преимущественно из *Artemisia* (80 %) при участии *Caryophyllaceae* (2 %), *Asteraceae* (2 %), *Polygonaceae* (11 %, в т. ч. *Polygonum bistorta*), *Gramineae* (2 %) и небольшом участии водно-болотных – *Ericales* (2 %). Единичны споры *Polypodiaceae*, *Sphagnum*, водоросли *Pediastrum*. Здесь же повышается встречаемость пыльцы плохой сохранности. ПК-8 отмечает распространение разреженных берёзово-сосновых лесов с елью, ольхой, орешником и открытых пространств с польнями, злаковыми, разнотравьем в умеренно-холодных условиях ранних этапов наступающего днепровского ледника – фаза I, al Q₂-dn-s-1.

ПК-9 из песка на гл. 1,20–1,40 м характеризует доминирование пыльцы древесных пород (92 %) над пылью травянистых растений (3 %) и споровыми (5 %). В группе древесных преобладает *Pinus* (62 %), много *Betula sect. Albae* (36 %, в т. ч. *Betula nana*), присутствуют *Picea* (0,5 %), *Ulmus* (0,5 %), *Carpinus* (0,5 %), *Viburnum* (2 %). Малочислены наземные травянистые растения (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Gramineae*), а также споры *Polypodiaceae*. ПК-9 знаменует развитие сосново-берёзовых лесов, на болотах – появление карликовой берёзки в умеренных климатических условиях ранних этапов наступающего днепровского ледника – фаза I, al Q₂-dn-s-2.

ПК-10 из песка на гл. 1,00–1,20 м знаменует преобладание пыльцы травянистых растений (52 %) и высокие значения пыльцы древесных пород (46 %) наряду с малой ролью споровых (2 %). Среди древесных абсолютный максимум принадлежит *Betula sect. Albae* (80 %) при большой роли *Pinus* (20 %), редким *Ligustrum* (1 %). Группа наземных травянистых растений представлена преимущественно *Artemisia* (72 %), в меньшей мере *Asteraceae* (17 %) наряду с единичными *Chenopodiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Polygonaceae*, а из спор – *Polypodiaceae*. Следует отметить в данном палинокомплексе резкое повышение встречаемо-

сти пыльцы плохой сохранности, наличие угольных частиц. ПК-10 характеризует распространение разреженных берёзово-сосновых лесов, открытых ландшафтов преимущественно из полыней и разнотравья в умеренных климатических условиях ранних этапов наступающего днепровского ледника – фаза l,al Q₂-dn-s-3.

ПК-11 из супеси на гл. 0,35–1,00 м свидетельствует о наличии единичных пыльцевых зёрен *Pinus*, *Picea*, *Artemisia* и спор *Polypodiaceae*, что может свидетельствовать о холодных климатических условиях – фаза l-gl Q₂-dn-s-4.

ПК-12 из супеси на гл. 0,25–0,35 м отражает господство пыльцы древесных пород (65 %) над пыльцой травянистых растений (18 %) и споровыми (17 %). В составе древесных абсолютный максимум принадлежит *Pinus* (76 %) при невысокой роли *Picea* (15 %), *Betula sect. Albae* (7 %), *Tilia* (2 %). Травянистые растения представлены преимущественно *Polygonaceae* (40 %), *Artemisia* (20 %), в меньшей мере *Ranunculaceae* (7 %), *Caryophyllaceae* (13 %), *Asteraceae* (7 %), *Ericales* (13 %), а споровые – *Filicales* (57 %), *Sphagnum* (28 %), *Polypodiaceae* (7 %), *Lycopodiaceae* (7 %, в т. ч. *Lycopodium complanatum*). ПК-12 знаменует широкое развитие сосновых лесов с небольшим участием ели, берёзы в умеренных климатических условиях в одну из фаз наступающего днепровского ледника – фаза l, al Q₂-dn-s-5.

ПК-13 из супеси на гл. 0,00–0,35 м отражает присутствие единичных пыльцевых зёрен *Pinus*, *Picea*, *Corylus* и спор *Polypodiaceae*, что может свидетельствовать о холодных климатических условиях – фаза l-gl Q₂-dn-s-6.

Оценивая полученную диаграмму необходимо отметить, что отличительными особенностями палинологической характеристики отложений в разрезе Руба (расчистка 2) являются: слой торфа мощностью в 0,65 м залегает внутри песчаных слоёв, начальный этап его накопления как отражение заросшего и болотного режима палеоводоёма, приходится на начало межледниковья, весь слой – на предоптимальный и оптимальный его этапы, а завершающий этап свидетельствует о смене болотного режима на динамичный озёрно-аллювиальный в постоптимальную фазу – начало ухудшения климата в условиях развития последующего оледенения; последовательность максимумов основных лесообразующих пород как выражение макросукцессии палинофитоценозов данного разреза имеет следующий вид: (*Larix* + *Pinus* + *Betula*) → (*Pinus* + *Picea*) → (*Pinus* + *Betula* + *Quercetum mixtum*) → (*Spores* + *Betula* + *Alnus* + *Quercetum mixtum*) → (*Pinus* + *Betula* + *Quercetum mixtum*) → (*Spores* + *Picea* + *Quercetum mixtum*) → ... (*NAP* + *Betula* + *Pinus* → *Pinus* + *Betula*) → (*NAP* + *Betula*); высокое содержание споровых в оптимум и доминирование древесных пород как свидетельство межледникового типа спектров из органической толщи, а высокая роль пыльцы травянистых растений в перекрывающих их песчаных осадках – как отражение перигляциального типа спектров в холодных условиях; доминирование хвойных (преимущественно *Pinus*, а в отдельные фазы *Pinus* с *Picea*, *Larix*) в сочетании с ольхой – как принадлежность растительных ассоциаций к александрийскому межледниковью; хорошая выраженность климатического оптимума (55 %, преобладает *Quercus*) и практически одновременная кульминация широколиственных пород (*Quercus*, *Ulmus*) и *Corylus*, а максимум *Alnus* предшествует им; отсутствие пихты на диаграмме; по составу экзотических (*Picea sect. Omorica*, *Pinus sect. Strobus*, *Larix*, *Tilia platyphyllos*, *Ephedra*, *Quercus pubescens*, *Osmunda claytoniana*,) и редковстречаемых (*Salvinia natans*, *Nuphar luteum*) видов ископаемая флора близка александрийскому межледниковью; экзотический вид *Betula nana* характерен уже для фазы похолодания климата в постмежледниковое время.

Указанное свидетельствует о том, что формирование озёрно-болотных отложений происходило в александрийское межледниковье, в водоёме с неустойчивым водным режимом, и, скорее всего, в его прибрежной части, быстрее реагирующей при изменении климата и гидрологического режима на смену осадков и соответствующий состав захороненных в них пыльцы и спор.

Не исключена и другая трактовка полученной палинологической диаграммы: ПК-1 характеризуют осадки, накопившиеся в конце более раннего и мощного оптимума (сумма широколиственных пород составляет 54 %, фаза *Carpinus* до 40 % без присутствия переотложенных микрофоссилий плохой сохранности) александрийского межледниковья (это обосновывается наличием *Osmunda claytoniana*), за которым последовали фазы *Picea* и *Pinus*, затем *Betula* как отражение промежуточного похолодания, и уже впоследствии – второй оптимум того же александрийского межледниковья, его завершение и отражение начальных фаз последующего похолодания в преддверии днепровского оледенения.

Приведённый палинологический материал по разрезу Руба в расчистках 1 и 2 свидетельствует, что обе маломощные (соответственно 0,40 и 0,65 м) торфянистые толщи накопились всё же в разных точках одного и того же водоёма во время александрийского межледниковья.

В то же время, по мнению Ю. А. Лаврушина (письменное сообщение от 26.06.1979 г.), «...в карьере Руба найдены два слоя органогенных отложений – в одном случае органогенный слой лежит на тёмно-серой морене (расчистка 1), в другом – в чешуе, внутри её (расчистка 2). Я не исключаю, что это шклов». Несколько позднее Ю. А. Лаврушиным, отобравшим образцы породы и на карпологический анализ, был представлен список выделенных из торфа остатков ископаемых растений (табл.), которые «по заключению Ф. Ю. Величкевича содержат типичную лихвинскую, бразениевую семенную флору, аналогичную ранее опубликованной (Величкевич, 1977, ДАН СССР, Т. 233, № 6)» (табл.).

Следует отметить, что ранее отложения в разрезе Руба были изучены Н. А. Махнач [1–3]. Полученная палинологическая диаграмма является наиболее представительной из всех имеющихся.

Таблица – Список семенной флоры разреза Руба (обр. Ю. А. Лаврушина, 1979 г.)

№	Растение	Обр. 1.	Обр. 2
1.	<i>Salvinia natans</i> (L.) All.	ом	ом
2.	<i>Picea</i> sect. <i>Eupicea</i>	+	–
3.	<i>Pinus</i> sp.	1	–
4.	<i>Larix</i> sp.	8	–
5.	<i>Juniperus communis</i> Huds.	1	–
6.	<i>Typha</i> sp.	3	ом
7.	<i>Sparganium simplex</i> Huds.	ом	–
8.	<i>Potamogeton natans</i> L.	8	–
9.	<i>P.</i> cf. <i>pusillus</i> L.	3	–
10.	<i>Najas</i> sp.	–	+
11.	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	2	14
12.	<i>Stratiotes</i> cf. <i>brevispermis</i> Wielicz.*	–	15
13.	<i>Scirpus lacustris</i> L.	–	3
14.	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. Et Schult.	39	4
15.	<i>Carex</i> sp.	ом	37
16.	<i>Aracites interglacialicus</i> Wielicz.*	4	–
17.	<i>Betula alba</i> L.	7	–
18.	<i>Brasenia borystenica</i> subsp. <i>heterosperma</i> Wielicz.*	8	–
19.	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	–	4
20.	<i>Ranunculus</i> cf. <i>flammula</i> L.	16	–
21.	<i>Rubus idaeus</i> L.	4	–
22.	<i>Viola</i> sp.	5	–
23.	<i>Myriophyllum spinulosum</i> Dorof.*	81	–
24.	<i>Andromeda polifolia</i> L.	2	–
25.	<i>Naumburgia thyrsoiflora</i> (L.) Reichb.	3	–
26.	<i>Menyanthes</i> sp.	–	+
27.	<i>Cirsium palustre</i> Scop.	1	–

* – вымершие формы.

Библиографические ссылки

1. Величкевич Ф. Ю., Рылова Т. Б., Санько А. Ф., Феденя В. М. Берёзовский страторайон плейстоцена Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1993.
2. Гарецкий Р. Г., Кичкина М. С., Кручек С. А. и др. Белорусская Советская Социалистическая республика // Сводный путеводитель экскурсии 024 «Ледниковые отложения Белоруссии». К 27-му Международ. геол. конгр., СССР, Москва, 1984. Минск : Наука и техника, 1984. С. 39–63.
3. Garetsky R. G., Kichkina M. S., Kruchek S. A. et al. Byelorussian Soviet Socialist Republic // Excursions 024 «Glacial deposits of Byelorussia». XXVII Session Int. Geol. Congr., USSR, Moscow, 1984. Minsk : Nauka i tekhnika, 1984. P. 39–63.

УДК 561.79:551(476)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ ГЛЯЦИОПЛЕЙСТОЦЕНА ОШМЯНЩИНЫ КАК ПРИРОДНОЕ НАСЛЕДИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДА РЕГИОНА

Я. К. Еловичева

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; yelovicheva@yandex.ru

Палинологически охарактеризованы древнеозёрные отложения мощностью от 19–22 до 192 м в разрезах Ошмянского края – Граужишки, Дертники и Суходолы, накопление которых происходило на протяжении среднего гляциоплейстоцена (в пределах от 80 тыс. до 380 тыс. лет = МИС-6–МИС-11) во время существования александрийского и шкловского межледниковий, а также перигляциальных интервалов сожского оледенения.

Ключевые слова: гляциоплейстоцен; древнеозёрные отложения; Беларусь.

На территории Ошмянского р-на Гродненской обл. Беларуси палинологически изучено три уникальных геологических разреза, представляющих и в настоящее время большой научный интерес в отношении возраста слагающих их органогенных пород и палеогеографических условий развития компонентов природной среды во время существования древних водоёмов на крайнем северо-западе региона (рис. 1).

В палинологической базе данных Беларуси эти разрезы фиксируются у дд. Граужишки, Дертники и Суходолы.

Разрез *Суходолы* (скв. 66) находится в 8,7 км к северо-западу от костёла в г. Ошмяны, в верховье р. Ошмянка (левый приток р. Вилия), на 54,4992 с. ш., 25,8944 в. д.

Шаличинским ГГС отрядом Литовской нефтегазразведочной экспедицией Управления геологии при Совете министров Литовской ССР (1962–1964 гг.) скв. 66 (абс. отм. устья 261,13 м) на гл. 184,9–204,0 м вскрыта органогенная толща мощностью в 19,1 м.

Залегает она в основании разреза и перекрыта мощным (42,7 м) монолитным моренным суглинком (с гл. 184,9 м по 142,2 м), затем прослоем ~5 м алеврита и ~7 м суглинка моренного, а выше примерно с гл. 130 м шло переслаивание мощных (до 19–38 м) толщ песка с прослоями того же суглинка моренного, изредка суглинка (гл. 41,1 м) до гл. 22,05 м.

Выше по разрезу (гл. 0,0–22,05 м) отмечено 3 слоя суглинистой морены с разделяющими слоями песка с гравием и песка.

Ископаемая толща палинологически исследована А. П. Римашевской [4] по серии образцов. На полученной диаграмме (рис. 2) отражена сложная смена спектров, объединяющая в целом 10 палинокомплексов в соответствии с фазами развития растительности под влиянием климата на протяжении шкловского межледниковья (фазы sk-igl) [3]. Макросукцессия палинофитоценозов на диаграмме выглядит следующим образом: (NAP + *Betula* + *Pinus*) → (NAP + *Picea* + *Pinus* + *Betula*) → (NAP + *Pinus*) → (NAP + *Betula* + *Pinus* + *Alnus*) →

(NAP + *Pinus*) → (NAP + *Betula* + *Picea*) → (*Picea* + *Pinus* + *Corylus*) → (*Betula* + *Alnus* + *Corylus*) → (*Pinus* + *Alnus* + *Corylus*) → (*Betula* + *Pinus*).

Разрез *Граужишки* (*Гравжишки*) расположен у д. Граужишки, в 11,9 км к юго-западу от костёла в г. Ошмяны, в пределах слабо заболоченной равнины верховой р. Гольшанка (приток р. Березины Неманской), на 54,32808 с. ш., 25,8413 в. д.



Рисунок 1 – Местоположение геологических разрезов с палинологически изученными органогенными образованиями в Ошмянском р-не Гродненской обл. Беларуси.

В разрезе скважины органогенные образования вскрыты на гл. 16,2–208 м и палинологически исследованы К. И. Демешко [4], как образования александрийского межледниковья (фазы a-igl) и начала сожского оледенения (фазы sz-s).

Разрез *Дертники* (скв. 16) расположен у д. Дертники на пойме р. Гольшанка, в между-речье рр. Клева и Гольшанка, на 54°11' с. ш., 26°05' в. д.

Молодечненской ГСП Управления геологии при Совете министров БССР (1955–1956 гг.) скв. 16 (абс. отм. устья 172,0 м) на гл. 72,65–95,05 м вскрыта органогенная толща общей мощностью 22,4 м. Залегает она на меловых образованиях (Cr), песке с прослоями супеси раннего плейстоцена на гл. 95,05–112,55 м (Q₁) и перекрыта слоями песка с гравием (гл. 68,25–72,65 м), супеси с гравием и прослойкой песка (гл. 46,25–68,25 м), супеси с песком и гравием (гл. 34,75–46,25 м), песка (гл. 31,75–34,75 м), супеси с песком и гравием (гл. 10,75–31,75 м), супеси с гравием, песка с гравием (гл. 0,2–10,75 м) – l-al, fgl, gl Q_{2-dn/sz}, с поверхности – почвой (гл. 0,0–0,2 м). Палинологическое исследование органогенной озёрной толщи (снизу вверх – глина опесчаненная и глина на гл. 78,05–95,05 м, затем суглинок опесчаненный на гл. 75,53–78,05 м и супесь на гл. 72,65–75,53 м) проведено Н. Чехович [3] по 7 образцам. На полученной пыльцевой диаграмме (рис. 3) выделено 4 палинокомплекса, отражавших фазы развития растительности в течение александрийского межледниковья (фазы a-igl) в зависимости от смены климатической обстановки, с разделяющими интервалами без наличия ископаемых растительных микрофоссилий. Подстилающая александрийские межледниковые образования толща, скорее всего, накопилась в раннем плейстоцене (Q₁), а перекрывающая – является сложным образованием среднего и позднего плейстоцена (Q₂₋₃).

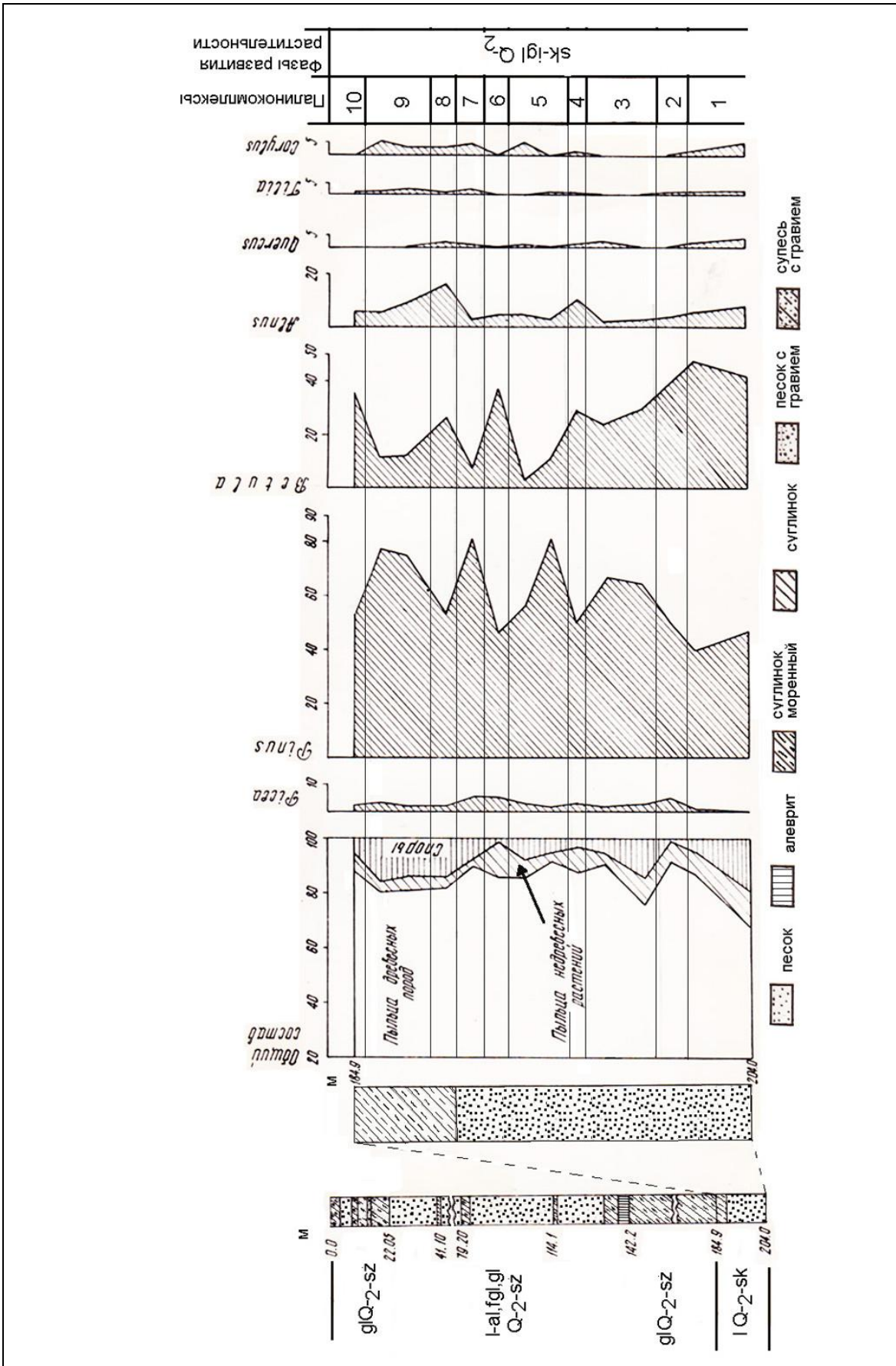


Рисунок – 2. Пыльцевая диаграмма отложений у д. Суходолы (скв. 66)
 Анализ А. П. Римашевской.

Макросукцессия палинофитоценозов на пылевой диаграмме выглядит следующим образом: $(Pinus + Abies + Picea + Betula) \rightarrow \dots \rightarrow (Pinus + Abies + Picea + Alnus) \rightarrow (NAP + Betula + Pinus + Picea + Corylus) \rightarrow \dots \rightarrow (Betula + Alnus + Corylus)$.

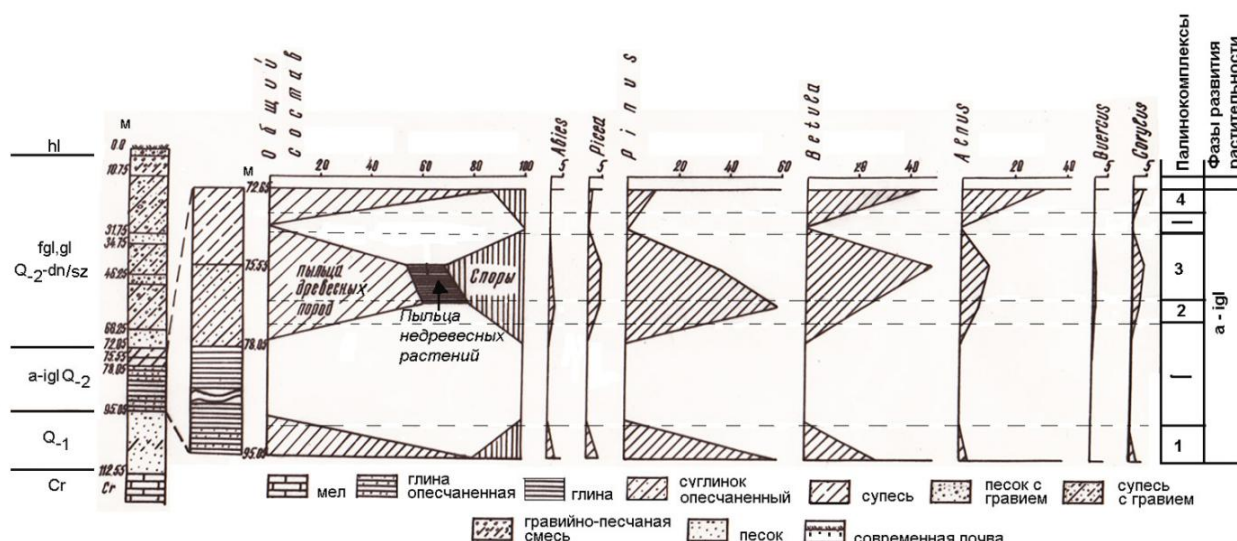


Рисунок 3 – Пылевая диаграмма отложений в разрезе у д. Дертники (скв. 16)
Анализ Н. Чехович.

Таким образом, достаточно близкое и субмеридиональное расположение в Ошмянском р-не вышеописанных геологических разрезов с наличием органогенных образований, исследование которых проведено на основе палинологического анализа, позволяет осуществить их корреляцию по условиям залегания пород в гляциоплейстоценовой толще (рис. 4).

Как видно, палинологически охарактеризованные древне-озерные отложения мощностью от 19–22 до 192 м в представленных разрезах у дд. Суходолы, Граужишки и Дертниково накопились на протяжении второй половины среднего (шкловское, александрийское межледниковья, временные интервалы сожского оледенения) и позднего (водно-ледниковые поозёрские) плейстоцена, охватывавших последние 80–380 тыс. лет, что соответствует изотопным стадиям МИС-6–МИС-11 морской стратиграфической шкалы Северного полушария.

Древнеозёрные межледниковые образования Ошмянщины (александрийские, шкловские) имели устойчивый характер садки в отдельные этапы, накапливались в климатических условиях, показатели которых были выше голоценового оптимума и современного этапа в регионе, а растительность была богаче и разнообразнее за счёт развития термо- (дуб, липа, орешник) и мезофильных (ольха) пород, создававших зону широколиственных пород, при доминирующей роли сосновых, еловых с пихтой, березовых лесов, которые чередовались с интервалами островных лесных участков и открытых луговых пространств в более прохладных климатических условиях.

Но значительно более важной уникальной особенностью геологических разрезов, помимо возраста их отложений, является строение доплейстоценовой и плейстоценовых толщ в пределах Ошмянского края. Нахождение древнеозёрных отложений на большой глубине и перекрытие их сложным комплексом плейстоценовых образований объясняется залеганием их в западной части Ошмянской полосы конечно-моренных образований как одного из отрогов Белорусской гряды. Для этого участка, ограниченного с севера Нарочано-Вилейской равниной, с юга – Верхненеманской низиной, на юго-западе – Лидской равниной, на востоке – переходит в Минскую возвышенность, на западе – заходит на территорию Литвы как Мядинкайская возвышенность, характерно наличие валообразных моренных возвышенностей,

песчано-гравийных камовых холмов и озовых гряд, чередующихся с межгрядовыми понижениями (котловины, долинообразные углубления).

В тектоническом отношении основная часть территории приурочена к Воложинскому грабену и повторяет его направление, небольшая часть – к Вилейскому погребённому выступу Белорусской антеклизы, на северо-востоке пролегает Ошмянский разлом. Залегание кристаллического фундамента на глубине до 300–350 м предопределяет большую мощность осадочного чехла на всей территории из отложений венда (мощность более 200 м), кембрия (около 100 м) – песчаниками, глинами и алевролитами, мела (до 50 м) – мергелем, мелом и песками, плейстоцена (100–250 м), а ложе последних отличается значительным колебанием абсолютных высот от 118 м и выше до –12 м (уже в районе Молодечно). Современный грядовый и среднехолмистый рельеф Ошмянского края – результат сложной эволюции накопления моренных отложений разновозрастных (березинского, днепровского, сожского) ледников и коррелятных им поозёрских слоёв.

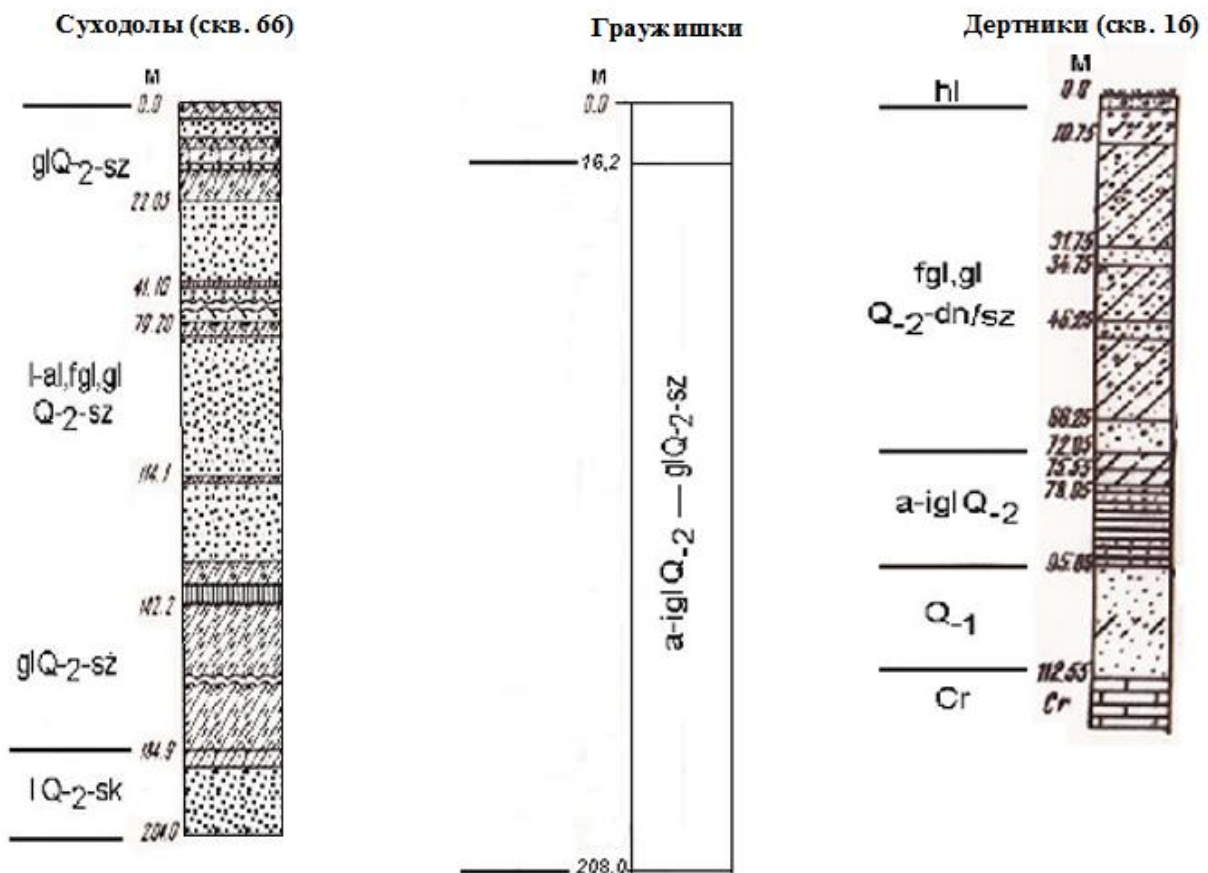


Рисунок 4 – Условия залегания палинологически изученных органогенных образований на территории Ошмянского р-на Гродненской обл. Беларуси (условные обозначения – на рис. 2–3)

Большинство геологов и геоморфологов Беларуси [1, 5] основной этап рельефообразующих процессов под воздействием широкой деятельности гляциотектоники (складчатые и скибовые дислокации, сопровождавшиеся нарушением и перемещением по надвигам маргинальных конечных морен, отторженцы, претерпевавшие многоразовое последовательное нагромождение, выжимание и смятие [2] относят к сожскому ледниковому времени (главным образом, Ошмянская стадия и нескольких фациальных и осцилляторных подвижек края ледника вилейской лопа-

сти), когда были сформированы сложнодислоцированные двучленные комплексы ледниковых образований, представленные чешуйчатыми монолитными основными моренами в нижнем и гляциоаллохтонными (принесёнными) напорными мощными конечными моренами в верхнем ярусе.

В результате сформировалась густорасчленённая поверхность, и над соседними равнинами Ошмянская возвышенность возвышается на 75–150 м, с преобладающими абсолютными высотами 200–220 м, достигающими в центре 300 м. Высшая точка Ошмянской возвышенности – гора/холм Милидовская (320 м) у д. Милидовщина в соседнем Сморгонском р-не Гродненской обл., образовалась около 130–150 тыс. лет тому назад во время сожского оледенения. Сложена моренными суглинками и крупнозернистыми песчаными почвами, встречаются валуны. В нижней и средней части склонов покрыта лёссовидными пылеватыми суглинками. Вершина с выпуклыми склонами, крутизна которых на северо-западе до 35°, на юге до 10°. Собственно поозёрские осадки приурочены к котловинам, долинообразным понижениям и представлены водно-ледниковыми, аллювиальными, перигляциальными отложениями. Поверхность большей частью распахана (рис. 5, 6).



Рисунок 5 – Ландшафт Ошмянской возвышенности (фото из Internet)

Вместе с тем, литовские учёные придерживаются точки зрения на поозёрский возраст западной и северной частей Ошмянской возвышенности на основании того, что осадки муравинского межледниковья перекрыты на этой территории не перигляциальной толщей, а отложениями напорных морен поозёрского возраста, его наиболее древней оршанской (бранденбургской) стадии.

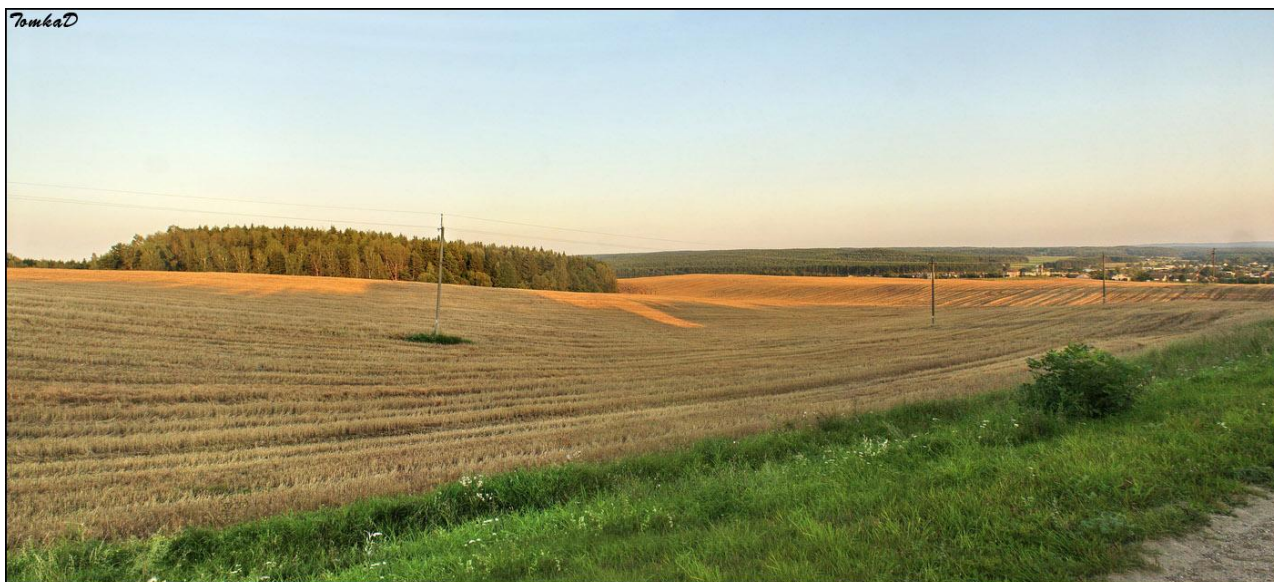


Рисунок 6 – Распаханный ландшафт Ошмянской возвышенности (фото из Internet)

Таким образом, каждый из представленных геологических разрезов Ошмянского р-на знаменует существование своеобразных палеоводоёмов, различающихся накопленными в них генетическими типами пород, их разным возрастом, условиями формирования, и характером окружающей их богатой наземной растительности, а также уникальной спецификой строения плейстоценовой толщи и характера ландшафтов, связанного с деятельностью древних ледников. Указанное является основанием относить данные разрезы к геологическим памятникам, природному и историческому наследию Ошмянского края, быть призванным охранять природную красоту в естественной среде. Представленные палинологические материалы, хранящиеся в палинологической базе данных Беларуси, ныне доступны для специалистов различных направлений и могут быть широко использованы в ходе научных и туристических маршрутов экскурсий по данной территории при ознакомлении с её богатым природным потенциалом.

Библиографические ссылки

1. Геология Беларуси / Под ред. А. С. Махнача, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева и др. Минск : ИГН НАН Беларуси. 2001.
2. *Комаровский М. Е.* Минская и Ошмянская возвышенности. Минск : ИЦ БГУ, 1996.
3. *Махнач Н. А.* Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене. Минск : Наука и техника, 1971.
4. Палинологическая база данных Беларуси / Электронный ресурс. Минск : БГУ, 2020. 1 300 ед.
5. *Якушко О. Ф., Емельянов Ю. Н., Иванов Д. Л.* Геоморфология. Минск : ИВЦ Минфина, 2011.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ ПАЛЕОКАРПОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЕЗА МУРАВА 2 (ЧЁРТОВ КУСТ)

Г. И. Литвинюк

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; litvinhi@bsu.by

Приводятся результаты палеокарпологического изучения отложений стратотипа муравинского межледниковья разреза Чёртов Куст. По результатам анализа выявленной флоры выполнены палеоклиматические реконструкции, в результате которых установлено, что среднегодовые температуры июля колебались от +15,4 до +18,0 °С, а января – от 0 до +5,8 °С, что значительно выше среднегодовых температур на данной территории в настоящее время.

Ключевые слова: стратотип, муравинское межледниковье, палеоклимат, семенная флора.

На правом берегу р. Березины (правый приток р. Днепр) в 30 км ниже г. Борисова, между дд. Мурова и Побережье в стенке оврага вскрывается толща озёрно-старичных отложений, известных в литературе как стратотипический разрез муравинского межледниковья Беларуси. Погребённый торфяник впервые был описан в 1928 г. Г. Ф. Мирчиком. Палинологические исследования были выполнены В. С. Доктуровским [1]. Детальное изучение геологического строения района и выяснение условий залегания межледниковых отложений проведено Л. Н. Вознячуком [2]. Также изучением состава ископаемой флоры данного разреза занимались Н. А. Махнач, П. И. Дорофеев, Ф. Ю. Величкевич [3], Г. И. Литвинюк [4], А. Ф. Санько [5]. Летом 2019 г. автором было проведено повторное изучение разреза Чёртов Куст, его межледниковой части с целью выявления состава семенной флоры и проведения палеоклиматических реконструкций. Расчисткой и шурфом, заложенными в центральной части линзы, в небольшом овраге, были вскрыты межледниковые супеси зеленовато-серого цвета мощностью 1,6 м, из которых на палеокарпологический анализ было отобрано 7 образцов породы объёмом 1 полное ведро каждый. После лабораторной обработки образцов некоторые из них были разделены на всплывшую (в) и осевшую (а) фракции, которые были изучены отдельно. В результате был определен видовой состав ископаемой флоры (табл.), который по степени выявленности практически не уступает ранее установленной. В целом состав выявленной флоры насчитывает 74 вида древесных, кустарниковых и травянистых растений, отражающих оптимум муравинского межледниковья (табл.). Это меньше, чем состав всей ископаемой флоры разреза Чёртов Куст, но многие из вновь выявленных видов происходят из вышележащих отложений, которые нами не были вскрыты из-за мощной осыпи. Основу выявленной флоры составляют теплолюбивые формы, среди которых из древесных пород следует отметить *Acer* sp., *Carpinus betulus*, которые происходят из верхней части супеси. Среди кустарниковых пород встречены остатки *Corylus* sp., *Prunus spinosa*, *Viburnum lantana*, *Swida sanguinea*. Из группы травянистых растений, прежде всего, бразениевого комплекса, помимо, нетипичной, обратнойцевидной *Brasenia holsatica*, встречаются *Dulichium arundinaceum*, *Caulinia flexilis*, *Aldrovanda vesiculosa*, *Trapa* sp. Следует также отметить большое количество остатков менее термофильных видов, таких как *Najas marina*, *Nuphar lutea*, *Scirpus lacustris*, что также свидетельствует о существовавших благоприятных климатических условиях. Разделение образцов на всплывшую и осевшую фракции позволило провести некоторые методические работы. Анализ полученных результатов позволил установить, что помимо увеличения общего количества ископаемых карпоидов только в осевшей фракции были обнаружены обломки

орехов *Corylus* sp., Трпа sp., единственное семя *Brasenia holsatica*, а также обломки шишек *Pinus*. Естественно, что повреждённые плоды и семена, растительные остатки с кусочками породы, также будут находиться в осевшей фракции. По-видимому, это зависит от степени гумусированности и плотности породы, целостности плодов и семян и, наверное, от методики обработки. Также в породе встречается большое количество кусочков семян *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea* и других видов, которые изначально находились в разрушенном состоянии. Это связано с прижизненными их повреждениями (грызуны, птицы) или с постседиментационными процессами, протекающими в осадочном слое, но, однозначно, не с условиями обработки (промывки) породы.

В результате проведённых исследований можно прийти к выводу, что изучение осевшей фракции позволило выявить часть ископаемой флоры, пусть и небольшую, но очень важную для восстановления её состава и проведения палеоклиматических и палеогеографических реконструкций, а также увеличить количество экземпляров отдельных видов, что также имеет важное значение при изучении процессов видоизменчивости.

Проведённые палеоклиматические реконструкции на выявленном составе флоры позволили установить, что среднегодовые температуры самого тёплого месяца – июля – составляли от +15,4 до +18,0 °С, а самого холодного – января – от 0 до +5,8 °С, что значительно выше среднегодовых температур в настоящее время (рис.).

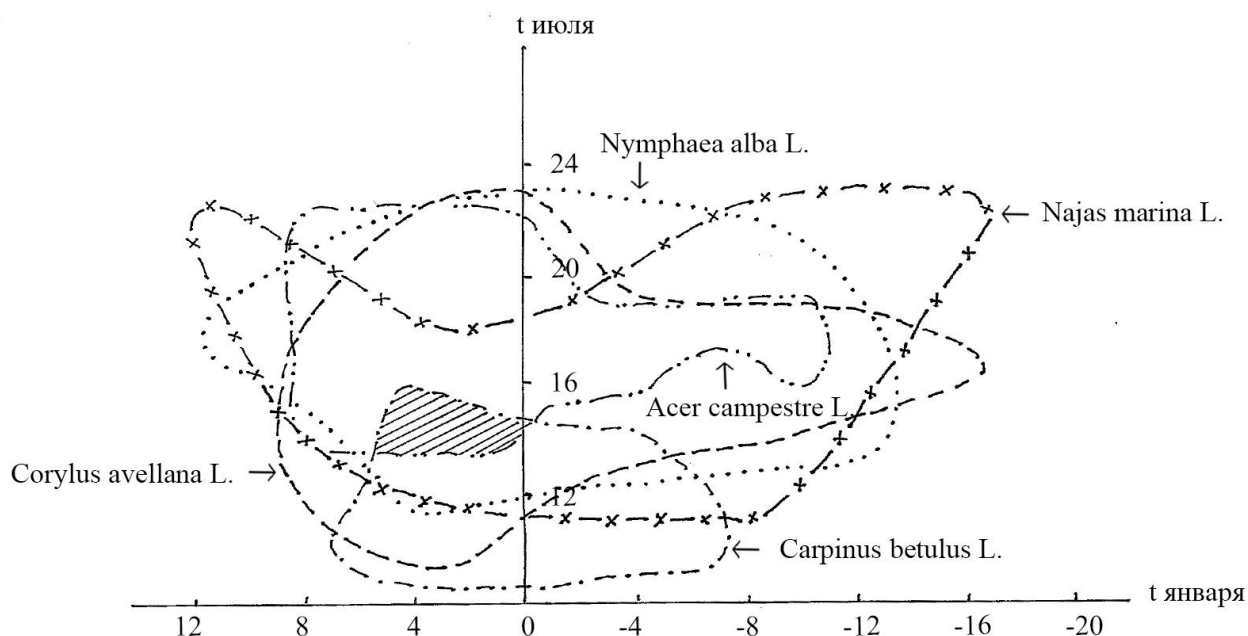


Рисунок – Реконструкция палеотемпературных показателей для оптимума муравинского межледникового разреза Мурава 2 (Чёртов Куст)

Таблица – Состав семенной флоры разреза Мурава 2 (Чёртов Куст)

Номер образца	1975	1а	1в	2а	2в	3	4	5	6а	6в	7
Растение	–	Супесь серая, плотная				Супесь тонкая			Супесь серая оскольчатая		
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Chara</i> sp.	17					52	ом	32	3	4	4
<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) Link	28	1			1	27	53	9		7	2
<i>S. tetraedra</i> Wieliczk.						1					
<i>Salvinia natans</i> L. All.	15							1		1	75
<i>Picea</i> sp.						+	+	+	+	+	
<i>Pinus</i> sp.		+	+	+	+	+	+ш	+	+	+	+ш

<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Juniperus sp.	1										
Sparganium emersum Rehm.	7					6	10	6			
S. microcarpum (Neum.) Raunk.							1				
Potamogeton natans L.	om			1	3	93	om	72	8	30	23
P. filiformis Pers.						1	3				
P. vaginatus Turcz.						1					
P. alpinus Balbis	2						1				
P. rutilus Wolfg.	1					1	1	2			
P. pusillus L.	1										
P. gramineus L.	25				1	1	7	4			5
P. obtusifolius Mert. et Koch								3			3
P. pectinatus L.						1					
Potamogeton spp.		+	+					1			
Najas marina L.	om	1	5	3	2	om	om	om	om	om	om
Caulinia flexilis Willd.							2	1			+
Caulinia sp.								1			
Alisma plantago-aquatica L.	20					10	23	10	1	6	30
Sagittaria sagittifolia L.	1										
Caldesia parnassifolia (L.) Parl.	1										
Scirpus lacustris L.	11	1	3	1	1	om	om	om	12	11	18
S. sylvaticus L.	57							1			8
Cladium mariscus (L.) Pohl.	6						1	9	9	9	
Dulichium arundinaceum (L.) Britt.								1			25
Carex s.gen Vignea	om	1	7	4	3	om	om	om	29	14	24
Carex s.gen Carex						3	7	2	1		
Calla palustris L.	6										
Betula alba L.	om	21	om			om	om	om	5	13	33
B. cf. nana L.		1									
Alnus glutinosa (L.) Gaertn.										1	3
Carpinus betulus L.											4
Corylus sp.											+
Humulus lupulus L.								1			1
Urtica dioica L.	1					8	7	3	1	1	6
Urtica sp.	6										
Polygonum sp.										1	1
Chenopodium album L.											1
Moehringia trinervia (L.) Clairv.								1			4
Brasenia cf. holsatica (Web.) Weberb.									+		1
Nymphaea alba L.	2	5+	43+	3+	18+	23+	41+	51+	18+	54	39
Nuphar lutea (L.) Smith	om	+	6+	2+	3+	2+	4+	6+	2+	2+	5
Ceratophyllum cf. submersum L.	37	+				8	17				
Ranunculus sceleratus L.	1					7	13	6		4	5
R. cf. repens L.	4										
R. flammula L.						1	3				
Ranunculus sp.						1					
Batrachium sp.	1					1	3				
Thalictrum sp.	2						1				
Chelidonium majus L.						3				2	
Rorippa palustris (L.) Bess.	1					1					
Aldrovanda vesiculosa L.	1								1	2	
Fragaria vesca L.	14	1	7		1	10	5	6		2	1
Comarum palustre L.						2	1	1			1
Potentilla anserina L.							2				
Potentilla sp.	7						1		1		
Prunus spinosa L.									1		
Rubus idaeus L.											2
R.cf. caesius L.			1					5			
Acer sp.											4
Frangula alnus Mill.						1					
Viola sp.	6					+				1	
Trapa sp.							+				+

Продолжение табл.

<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	4	1	1		1	4	12	6		1	1
<i>M. verticillatum</i> L.	ом		2		ом	ом	93	3	15	1	
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	3				1	1	1		2		
<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz					1		1				1
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng.						2	1				
Caryophyllaceae gen.										1	
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.						+	1				+
<i>Ajuga reptans</i> L.	2								2		2
<i>Lycopus europaeus</i> L.	62		1	1	1	15	13	13	2	12	25
<i>Mentha arvensis</i> L.	6					1			1	6	3
Lamiaceae gen.							1				
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.											
<i>Solanum dulcamara</i> L.						1	1				
<i>Viburnum opulus</i> L.								5			
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.						2	2	8	1	2	

Примечание. ом – очень много, более 100; ш – шишки; + – обломки семян.

Библиографические ссылки

1. Доктуровский В. С. О межледниковых флорах // Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода. 1930. № 2. С. 47–49.
2. Вознячук Л. Н. Отложения последнего межледниковья на территории Белоруссии // Материалы по антропогену Белоруссии. Минск : Изд-во АН БССР, 1961. С. 159–217.
3. Величкевич Ф. Ю. Антропогенные флоры Белоруссии и смежных областей. Минск : Наука и техника, 1973.
4. Литвинюк Г. И. О неоплейстоценовых флорах Белоруссии // Палеокарпол. исслед. кайнозоя. Минск : Наука и техника, 1982. С. 71–92.
5. Sanko A. F., Arslanov Kh. A., Elovacheva Ya. K., Velichkevich F. Yu., Kuznetsov V. Yu., Maksimov F. E., Chernov S. B., Baranova N. G., Kukharchyk Yu. V., Savchenko I. E. The first U-Th dating of the Muravian Interglacial deposits in Belarus // Book of abstracts / 8th Int. Conf. «Methods of absolute chronology», 17–19th May 2004, Ustron, Poland. Gliwice, 2004. P. 132–133.

УДК 551.79

НОВЫЙ РАЗРЕЗ МЕЖЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ БЕЛАРУСИ

Г. И. Литвинюк, К. А. Мазурина

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; litvinhi@bsu.by

Приводятся предварительные результаты изучения нового разреза межледниковых отложений на северо-западе Беларуси, обнаруженного летом 2020 г. Первые полученные результаты свидетельствуют в пользу муравинского возраста органогенных отложений. Для более детального определения возраста требуется дальнейшее изучение геологических условий залегания и более полное выявление состава ископаемой флоры.

Ключевые слова: ископаемая флора; муравинское межледниковье; сожское оледенение; морена.

Геологами Слуцкой геолого-разведочной партии летом 2020 г. в ходе полевых работ в окрестностях п. г. т. Островец были обнаружены выходы ископаемого торфяника в песчано-гравийном карьере. Этим же летом авторы при содействии Минского государственного туристско-экологического центра детей и молодежи посетили данный разрез с целью изучения

состава флоры и определения возраста вмещающих их отложений. В результате было установлено, что в западной стенке глубокого карьера обнажается маломощная толща межледниковых отложений, протяжённостью около 30 м, залегающая на флювиогляциальных песках. Неясным остаётся вопрос наличия верхней морены, т. к. в некоторых местах в верхней части присутствует маломощная красно-бурая толща супесей отдаленно напоминающих размытую морену. Расчисткой заложённой в центральной, наиболее мощной, части линзы вскрываются сверху вниз следующие слои (мощность, м):

1. Почва	0,55–0,60
2. Песок ржаво-бурый, мелко-тонкозернистый, пылеватый, однородный, пронизан корнями современных растений. Нижний контакт чёткий, ровный.	0,80
3. Песчано-валунно-галечный горизонт, состоящий из кристаллических пород.	0,30
4. Суглинок зеленовато-серый, оскольчатый, однородный, неслоистый с включениями отдельных зёрен гравия и гальки. Нижний контакт чёткий, ровный.	0,30
5. Супесь тёмно-коричневая, торфянистая, горизонтально слоистая, постепенно переходящая в нижележащий коричневый торф плотный, комковатый. Нижний контакт постепенный.	0,38–0,40
6. Торф тёмно-коричневый, травяной, листоватый, плотный, в нижней части с остатками крупной древесины (ветки, сучья). Нижний контакт чёткий, ровный.	0,43
7. Суглинок зеленовато-серый, грубый, с включениями гравия и единичной гальки, неясно горизонтально слоистый. Слой разделен прослоем ожелезнения, мощностью 5–7 см, с включениями отдельных окатанных валунов диаметром до 35 см. В верхней части слоя встречаются примазки органики, в нижней – линзочки суглинка серого. Нижний контакт чёткий, ровный.	0,70
8. Песок зеленовато-серый, грубый, с гравием, галькой и небольшими валунами кристаллических пород. Нижний контакт чёткий, ровный.	0,45
9. Суглинок тёмно-серый с зеленоватым оттенком, плотный, однородный, тонкий. Нижний контакт чёткий, ровный.	0,02–0,03

Из флороносной толщи (слои 5 и 6) снизу вверх через равные промежутки (20 см) на палеокарпологический анализ были отобраны 4 образца породы объёмом по 2 полных ведра каждый. В результате выполненного предварительного анализа образцов была выявлена небольшая по своему составу флора. Основу её составляют древесные породы, среди которых доминируют остатки сосны обыкновенной, представленной шишками, семенами и большим количеством хвои. находка довольно большого количества шишек хорошей сохранности не вызывает сомнений в её видовом определении. Из других древесных пород встречаются единичные обломки хвои ели, орешки и чешуи *Betula alba*. Из кустарниковых пород обнаружены плоды *Juniperus communis*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Viburnum lantana*. Флора травянистых растений также бедна и немногочисленна. Наибольшей массовостью остатков отличается обилие осок, представленных как наземной так водной формами. Из теплолюбивых видов встречаются единичные плоды и семена *Potamogeton natans*, *Scirpus lacustris*, *Typha sp.* (обломки рогов) и некоторые виды более умеренных условий обитания. Следует также отметить присутствие единичных мегаспор *Selaginella selaginoides*, что косвенно указывает на неоптимальные условия межледниковья.

Столь бедная и невыразительная по своему составу флора свидетельствует о том, что её формирование происходило, по-видимому, в неоптимальные фазы муравинского межледниковья. Большое количество остатков сосны вместе с шишками характерно для начальных фаз муравинского межледниковья (разрез Мурава) [1] или раннепоозёрского времени (разрез Дорошевичи) [2]. Для выявления более полного состава флоры и уточнения возраста вмещающих осадков, требуется её дальнейшее более детальное изучение.

Библиографические ссылки

1. Литвинюк Г. И. О неоплейстоценовых флорах Белоруссии // Палеокарполог. исслед. кайнозоя. Минск : Наука и техника. 1982. С. 71–92.
2. Величквич Ф. Ю. Плейстоценовые флоры ледниковых областей Восточно-Европейской равнины. Минск : Наука и техника, 1982.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАКОВИН МОЛЛЮСКОВ ПАЛЕОЛИТИЧЕСКИМ ЧЕЛОВЕКОМ В КОСТЁНКАХ

А. Ф. Санько

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; sankoa@bsu.by

На примере стоянки Костёнки (Воронежская обл. Российской Федерации) обсуждается возможность использования раковин моллюсков в качестве товарных денег в позднем палеолите.

Ключевые слова: поздний палеолит; раковины моллюсков; Костёнки, деньги.

В культурных слоях палеолитической стоянки Костёнки (Воронежская обл. Российской Федерации) неоднократно отмечались раковины моллюсков с искусственными отверстиями. На вопрос, с какой целью делались такие отверстия, окончательного ответа нет. Преобладает точка зрения об использовании раковин моллюсков в качестве украшений, главным образом, бус. Однако, не исключено и использование раковин моллюсков как товарных денег. Достоверно установлены факты самого удалённого от современности времени применения раковин в качестве денег в Китае 3 500 л. н.

Возможность использования раковин моллюсков в качестве денег рассмотрим на примере многослойной палеолитической стоянки Костёнки. Эта стоянка – одна из наиболее изученных в России. Заметим сразу, что прямых доказательств использования раковин в качестве денег нет, но сам уклад жизни палеолитического человека в Костёнках и некоторые особенности строения раковин моллюсков, их видовая идентификация указывают на большую вероятность такого использования.

Местоположение стоянки и геологическое строение Костёнковско-Борщевского участка. Увеличение численности населения, конкуренция за обладание пищевыми ресурсами толкала палеолитического человека на продвижение на безлюдный север, в перигляциальную зону оледенения на Русской равнине. Однако проживание на ней палеолитическому человеку было невозможным из-за неблагоприятных (низкие температуры воздуха, малое количество атмосферных осадков) условий. Но человек нашёл оазис в этой перигляциальной пустыне. Им оказались глубокие овраги и балки, выходящие в долину тогда не очень полноводной р. Дон на участке Костёнки-Борщево. Здесь, в интерстадиальное время, существовали родники, росли древесные породы (сосна, пихта). Совсем рядом была река, заросли растительности со съедобными ягодами, а на плато ходили стада непуганых мамонтов, лошадей и других животных. Но так продолжалось не всегда. В ходе стадиальных похолоданий, сопровождающихся наступления многолетней мерзлоты, лёссонакопления, исчезновения родников, человек вынужден был мигрировать на юг, и не возвращался в Костёнки. Через сотни лет или даже тысячелетия человек, при улучшении климатической обстановки, вновь осваивал овраги и балки Дона. Следы деятельности палеолитического человека отражены в многослойных стоянках Костёнковско-Борщевского участка. Этот участок называют ещё микрорегионом памятников верхнего палеолита. Он сконцентрирован на 10-километровом участке правого берега р. Дон, между сс. Костёнки и Борщево в Хохольском р-не Воронежской обл. Здесь известно около 30 памятников, многие – многослойные, с учётом этого выделяют свыше 60 стоянок. Культурные слои стоянок, приуроченны к толще лёссовидных суглинков, разделённых погребёнными почвами. При очередном интерстадиальном потеплении лёссы и почвы, накопившиеся ранее, подвергались делювиальному оползанию. В нижней части почвенно-лессовой толщи зафиксирован горизонт ископаемого вулканического пепла, который был

доставлен в Костёнки из системы Флегрейских полей в Италии приблизительно 35 тыс. л. н. Заселению человека в овраги и балки Дона близ Костёнок благоприятствовали особенности геологического строения. Дело в том, что здесь находится сводовая часть Воронежской антеклизы. Мощность осадочного чехла, включая четвертичную толщу, небольшая. В связи с этим, на склонах оврагов и балок существовали выходы девонских и меловых отложений. Они служили источником извлечения кремня, необходимого для производства орудий труда и охоты. Палеолитический человек был прекрасно осведомлён об этом и использовал эти отложения не только для добычи кремня, но и различных палеонтологических остатков, типа аммонитов, белемнитов, губок.

Специализация хозяйства. Суровые условия окружающей среды в Костёнках вынуждали людей палеолитического общества приспосабливаться для выживания, специализироваться в добыче природных ресурсов. Среди членов общества, несомненно, была избранная группа людей, обладающих навыками охоты за дикими животными, прежде всего, мамонтами. Для того, чтобы поймать, например, лошадь или песца, необходимо было обладать определённой сноровкой, приёмами ловли. Разделывать туши добытых животных также могли «узкие специалисты». Для изготовления орудий труда необходимы были особые навыки, особое сырьё. Наилучшей горной породой для производства орудий труда и охоты были конкреции чёрного непрозрачного кремня, находящегося в толще меловых пород. Такой кремень надо было извлечь из слоёв мела, обнажавшихся на склонах крутых стенок оврагов. При дефиците чёрного кремня для орудий использовался окисленный (выветрелый) кремень, встречающийся на бечевнике Дона. Реже в качестве заготовки для орудий труда применялись кварциты, окремненные известняки из девонских пород, выходы которых также имеются на склонах оврагов, конкреции из песчаных отложений и ледниковые валуны. Поддерживать огонь (костер) для приготовления пищи, само её приготовление, забота о детях, собирательство растительной пищи (ягоды малины, морошки, возможно, грибы), строительство сооружений для жилья с использованием костей мамонта, проявления искусства – всё это требовало умения и навыков.

Следовательно, ведение хозяйства в конце среднего–начале позднего палеолита, основываясь на многослойных стоянках в Костёнках, не было стихийным. Наоборот, оно выглядит организованным, комплексным. В палеолитических обществах, безусловно, были лидеры, вожди, выделяющиеся своими умениями и, возможно, силой. Но и они не могли обеспечить функционирование первобытного общества. Возникла потребность в существовании «экономического» рычага, с помощью которого управление обществом становилось относительно беспроблемным. Таким рычагом, скорее всего, являлись произведения искусства, в том числе поделки типа пронизок из зубов песца, и мелкие притягательные природные объекты в виде экзотических (морских и пресноводных) раковин моллюсков.

Раковины моллюсков как возможная денежная единица. В отложениях многослойной палеолитической стоянки Костёнки выявлены раковины морских и континентальных (наземные и пресноводные) моллюсков. Раковины наземных моллюсков незримо сосуществовали с палеолитическим человеком. Это были в основном почвенные перигляциальные виды из т. н. лёссового комплекса. Реже (в фазы потеплений) попадались виды, связанные с травянистыми растениями подмоклых биотопов [3]. Также изредка встречались раковины пресноводных видов, способные существовать в небольших лужах. К пресноводным раковинам, осознанно занесённым человеком на стоянку, относятся речные моллюски, среди которых укажем на *Theodoxus cf. fluviatilis* (Linnaeus), *Lithoglyphus naticoides* (Pfeiffer), *Valvata naticina* Menke и представители семейства Unioidea. Здесь следует подчеркнуть, что раковины упомянутых речных видов встречаются только в культурных слоях. В то время они не могли населять воды Дона в окрестностях стоянки Костёнки. Это межледниковые и голоценовые виды, существовавшие на Русской равнине в речных водах вне зоны многолетней мерзлоты.

Отдельного рассмотрения заслуживают раковины *Theodoxus cf. fluviatilis* (Linnaeus). В-первых, раковины этого вида имеют искусственные отверстия, предназначенные по версии археологов для ношения подвесок. Между тем, на части раковин с искусственными отверстиями признаки длительного использования в качестве подвесок отсутствуют. Не исключено, что эти раковины, обладающие небольшими размерами, просто нанизывались на тонкие ветки растений или на нить для транспортировки, в том числе на длительные расстояния. В таком состоянии они не терялись. Во-вторых, видовая идентификация раковин вызывает вопросы. Дело в том, что раковины европейского вида *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus) по внешним параметрам очень схожи с раковинами понтическо-балканского моллюска *Theodoxus danubialis* (C. Pfeiffer) (рис. 1).



Рисунок 1 – Раковины современные моллюсков *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus) (слева) и раковины *Theodoxus danubialis* (C. Pfeiffer) с отверстиями (справа) из культурных слоёв палеолитической стоянки Костёнок 14, используемые палеолитическим человеком в качестве украшений или денег

Различие между ними в основном заключается в окраске раковин и характере рисунка. У вида *Th. danubialis* (C. Pfeiffer) более или менее постоянной остаётся голубовато-фиолетовая окраска поверхности раковин и полосчатый характер рисунка, в то время как у раковин родственного вида *Th. fluviatilis* (Linnaeus) окраска имеет, в основном, красновато-фиолетовые оттенки и пятнистый рисунок. У раковин со стоянки Костёнки 14 (Маркова гора) окраска поверхности подверглась изменению под воздействием окислительных процессов за время пребывания в почвенно-лессовой толще. Однако слабо сохранившийся рисунок всё же позволяет говорить о принадлежности раковин к виду *Th. danubialis* (C. Pfeiffer). Это означает, что раковины были доставлены палеолитическим человеком в Костёнки с очень узкого ареала – бассейна нижнего течения р. Дунай, где вид находился в рефугиуме во время глобального похолодания (поозёрского оледенения) в Европе. Проложив такое путешествие из устья Дуная на Средний Дон, раковины становились ценным товаром, который мог использоваться как украшение и как денежный эквивалент.

Раковины ещё одного вида речных моллюсков, ранее не зафиксированного в Костёнках, использовался палеолитическим человеком как украшения или даже деньги. Речь идёт о раковинах с искусственными отверстиями, принадлежащих виду *Valvata naticina* Menke (рис. 2). Палеолитический человек обратил внимание на эти раковины в связи с их фарфорово-глянцевым блеском, прочностью. Раковины рассматриваемого вида, как и раковины *Theodoxus danubialis* (C. Pfeiffer), приходилось доставлять издалека, из нижнего течения крупных низинных рек, впадающих в Чёрное и Каспийское моря. Происходило это приблизительно 32 тыс. л. н. Предполагаемый маршрут ориньякского человека с раковинами *Valvata naticina* Menke – нижнее течение Дуная – Костёнки 1 (стоянка Полякова).



Рисунок 2 – Раковины *Valvata naticina* Menke с искусственными отверстиями из археологического памятника Костёнки 1 (стоянка Полякова)

Морские раковины с просверленными отверстиями в культурном слое стоянки Костёнки представлены единственным экземпляром каури *Сурреа монета* Linnaeus, 1758 из семейства Сурраеиде (рис. 3) (в археологической литературе по стоянке Костёнки эту раковину рассматривают как представителя семейства Коллумбеллиде). Вид *Сурреа монета* Linnaeus населяет в настоящее время побережья Индийского и южную часть Тихого океанов. Ближайшее место обитания каури в настоящее время и в палеолите – Красное море. Раковины этого торгово-денежного названия каури встречаются при раскопках стоянок палеолита на территории Европы, Африки и на Ближнем Востоке.



Рисунок 3 – Раковины *Сурреа монета* Linnaeus с искусственными отверстиями из археологического памятника Костёнки 14 [4]

Из других морских организмов, найденных в разное время в культурных слоях Костёнок, укажем на раковины средиземноморского моллюска *Нассариус нитидус* (Jeffreys, 1867) и раковину морского моллюска семейства Серитииде (церитииды), представители которого обитают, в основном, в тропических морях, хотя отдельные виды встречаются в морях на юге Европы (рис. 4).

В археологической литературе, посвященной многослойной палеолитической стоянке Костёнки, указывается, что раковины использовались палеолитическим человеком в качестве бус и подвесок [1, 2]. По нашему мнению, раковины моллюсков, особенно морские, имели ценность, сравнимую с товарными деньгами. Для того, чтобы доставить указанные выше раковины морских и экзотических пресноводных моллюсков в Костёнки, палеолитическому человеку нужно было проделать долгий путь на юг, к устьям рек, впадающих в Чёрное или Каспийское море. Эти раковины также можно было обменять на что-нибудь ценное у соседних племён. Наиболее удачливые представители верхнепалеолитического общества, которые могли обеспечить, например, максимальный запас мяса в виде туши мамонта или северного оленя, награждались раковинами, бусами, а также подвесками из зубов песка, аммонитами из меловых отложений и другими украшениями. Верхнепалеолитическое общество в Костёнках, вероятно, состояло из успешных, а потому богатых, и менее успешных членов. Символами богатства были обладание самыми оригинальными подвесками из раковин моллюсков и зубов песка. Следовательно, они выполняли роль денег.



Рисунок 4 – Образы, символы, знаки верхнего палеолита. Раковины с отверстиями [5]
 Абсолютная датировка около 32 тыс. л. н. Костёнки 1 (стоянка Полякова). Археологическая культура – ориньяк. Раковина морского моллюска *Cyclope neritea* – 8, раковина морского моллюска *Nassarius nitidus* – 2, раковина пресноводного моллюска семейства *Theodoxus fluviatilis* 3–7, 9–10, раковина морского моллюска семейства Cerithiidae (церитиды) – 1. По данным автора данной статьи раковины под номерами 3–6 и 7–8 принадлежат виду *Theodoxus danubialis* (C. Pfeiffer), раковины под номерами 9 и 10 – виду *Valvata naticina* Menke.

Библиографические ссылки

1. Абрамова З. А., Сеницын А. А. Искусство в контексте проблемы периодизации верхнего палеолита Костёнок // Особенности развития верхнего палеолита Восточной Европы: материалы Международ. конф., посвящ. 120-летию открытия палеолита в Костёнках. ИИМК РАН, XI. 1999. 2002. С. 167–177.
2. Верхний палеолит: образы, символы, знаки. Каталог предметов искусства малых форм и уникальных находок верхнего палеолита из археологического собрания МАЭ РАН / Отв. редактор Г. А. Хлопачев. СПб. : Экстрапринт, 2016.
3. Санько А. Ф., Сеницын А. А. Палеоэкология позднего палеолита Верхнего Дона по данным изучения фауны моллюсков из стоянки Костёнки 14 (Маркина Гора) // Костёнки и ранняя пора верх. палеолита Евразии: общее и локальное / 23–26 авг. 2004 г. Воронеж, 2004. С. 127–130.
4. Сеницын А. А. Костёнки 14 (Маркина гора) – опорная колонка культурных и геологических отложений палеолита Восточной Европы для периода 27–42 тыс. лет (GS-11–GI-3) // Древ. культуры Вост. Европы: эталон. памятники и опор. комплексы в контексте соврем. археол. исслед. / Замятинский сб. СПб. : МАЭ РАН, 2015. Вып. 4. С. 40–59.
5. Кунсткамера. Раковины с отверстиями. Альбомы. Образы, символы, знаки верхнего палеолита [Электрон. ресурс]. URL: <http://collection.kunstkamera.ru/entity/OBJECT/311679?person=249&index=16> (дата обращения: 20.11.2020).

**ВЛИЯНИЕ КАТАГЕНЕТИЧЕСКОЙ ГАЛИТИЗАЦИИ
ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНОГО ПРОСТРАНСТВА
ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НА ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ
НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ
(НА ПРИМЕРЕ БЕРЕЗИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

Н. И. Будник, К. С. Карсеко

РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» БелНИПИнефть,
ул. Книжная 156, 246003 Гомель, Республика Беларусь; n.budnik@beloil.by

На примере Березинского месторождения нефти рассматривается технология разработки низкопроницаемых засоленных коллекторов.

Ключевые слова: катагенетическая галитизация; породы-коллекторы; месторождение нефти.

В настоящее время на разрабатываемых месторождениях Припятского прогиба около 65 % всех остаточных извлекаемых запасов Припятской нефтегазоносной области относятся к трудноизвлекаемым. Более 50 % из которых приурочены к низкопроницаемым породам-коллекторам. Низкая проницаемость пород-коллекторов обусловлена литолого-фациальными условиями осадконакопления, тектонической активностью бассейна седиментации, а также вторичными процессами катагенетической минерализации.

Засоленность низкопроницаемых пластов (катагенетическая кольматация пустотного пространства пород-коллекторов галитом и другими минералами) характерна для подсолевых и межсолевых залежей нефти многих нефтесоленосных районов мира (Триасовая провинция в Алжире, бассейн Мичиган в США, Иркутский амфитеатр и Тунгусский бассейн в России) в том числе и для Припятского прогиба в Беларуси [4]. Как правило, наряду с галитом, в порах, трещинах и кавернах пород-коллекторов присутствуют ангидрит, доломит и кальцит. Однако эти минералы, в отличие от галита, характеризуются весьма низкой растворимостью в пресной воде и не представляют значительного интереса для совершенствования технологии разработки залежей нефти. [1]. Катагенетическая галитизация обусловила значительное снижение пористости и проницаемости пород-коллекторов на многих нефтяных месторождениях Припятского прогиба [2].

Наиболее интенсивное проявление вторичного галитообразования имело место на территории Северной зоны прибортовых уступов (СЗПУ) Припятского прогиба. Галит, наряду с вторичными кальцитом и ангидритом, обусловил значительное снижение первичной пористости и проницаемости горных пород [4]. На площади СЗПУ открыты и разрабатываются Прохоровское, Судовицкое, Березинское, Восточно-Березинское, Северо-Березинское, Отрубское и Геологическое месторождения нефти.

После всестороннего изучения проблемы катагенетической минерализации пород-коллекторов нефтяных месторождений Припятского прогиба коллективом специалистов института БелНИПИнефть (В. Г. Жогло, Н. А. Демяненко, Н. И. Будник, Н. М. Веницкая) была предложена отечественная технология разработки засоленных низкопроницаемых пород-коллекторов. Суть предложенной технологии заключается в том, что скважина, вскрывшая засоленный низкопроницаемый пласт, переводится на циклический режим работы, каждый цикл которой включает этапы закачки в пласт пресной или слабоминерализованной воды, закрытия (остановки) скважины на время растворения галита, содержащегося в пласте, и последующего отбора жидкости из пласта через эту же скважину [3]. Данная технология была зарегистрирована в федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент)

изобретением «Способ повышения проницаемости засоленного низкопроницаемого нефтяного пласта».

На основании запатентованной технологии разработки низкопроницаемых засоленных коллекторов спроектированы и выполняются опытно-промысловые работы (ОПР) на участке скв. Березинская 17 и 21 (I и IV блоки Березинского месторождения (БМ)). Для проведения опытных работ выбраны данные скважины, исходя из наименьших экономических затрат для закачки пресной воды. Также вскрытая мощность пород-коллекторов и их параметры в скважинах соответствуют всем геолого-гидродинамическим и геохимическим критериям проведения технологии.

Нефтяная залежь I блока БМ по поверхности елецкого резервуара представляет собой моноклираль северо-восточного вздымания от абсолютных отметок –1 600 до –1 400 м. С севера блок ограничен региональным краевым разломом, с юга – промежуточным разрывным нарушением, с запада и востока – оперяющими согласными разломами. Размеры блока 2,0 × 0,6 км (рис. 1).

Программа ОПР для скв. 17, 21 БМ в общем виде состоит из следующих этапов: остановка добывающей скважины с проведением необходимых предварительных испытаний; организация закачки воды в добывающую скважину; остановка нагнетания и осуществление контроля распределения давления; ввод скважины в добычу с отбором попутно добываемых вод, причём объём добычи жидкости должен быть в 1,1–1,5 раза больше объёма нагнетаемой пресной воды; проведение необходимых исследований и подведение итогов выполненных работ.

Каждая программа ОПР для скважин, вскрывших засоленные низкопроницаемые коллектора, утверждается руководством РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

В ходе первого цикла опытных работ в скважину 17 в течение 2 недель в апреле было закачено 800 м³ пресной воды. Произведена остановка скважины на 2 недели для растворения катагенетического галита и распределения давления в околоскважинной зоне воздействия. С середины мая 2015 г. по май 2016 г. из скв. Березинская 17 производился этап добычи (рис. 2). Дебит жидкости изменялся с 7,0 т/сут (после проведения закачки пресной воды) до 2,0 т/сут (в конце этапа добычи). До проведения ОПР дебит жидкости составлял около 0,2 т/сут. Дополнительная добыча нефти за первый цикл ОПР по скв. Березинская 17 получена в объёме 368 т.

Перед проведением второго цикла опытных работ были выполнены гидродинамические исследования (ГДИ) в скважине. По результатам интерпретации ГДИ отмечается увеличение коэффициента продуктивности и радиуса промытой зоны в результате закачки пресной воды, что свидетельствует о происходящем процессе растворения галита в засоленном пласте-коллекторе. Закачка пресной воды в ходе второго цикла ОПР осуществлялась с июня по август 2016 г. (рис. 2). Всего было закачено 2 000 м³ пресной воды. После этапа перераспределения давления в зоне дренирования скважина была запущена в эксплуатацию в марте 2017 г., причём дебит жидкости достигал 10,5 т/сут. В период добычи с марта по ноябрь 2017 г. дополнительная добыча нефти в скважине составила 268 т.

Первый этап ОПР по скв. Березинская 21 выполняется в соответствии с утвержденной программой опытно-промысловых испытаний технологии выработки запасов нефти в засоленных коллекторах. В период с ноября по декабрь 2016 г. в скважину было закачено 1 020 м³ пресной воды. Скважина была запущена в эксплуатацию в середине марта 2017 г. с дебитом жидкости 10,0 т/сут. Средний дебит нефти составил 3,5 т/сут, до проведения опытных работ дебит нефти был всего 0,1 т/сут (рис. 3). Дополнительная добыча нефти в ходе первого этапа эксплуатации составила 332 т, что свидетельствует об эффективности выполняемых ОПР.

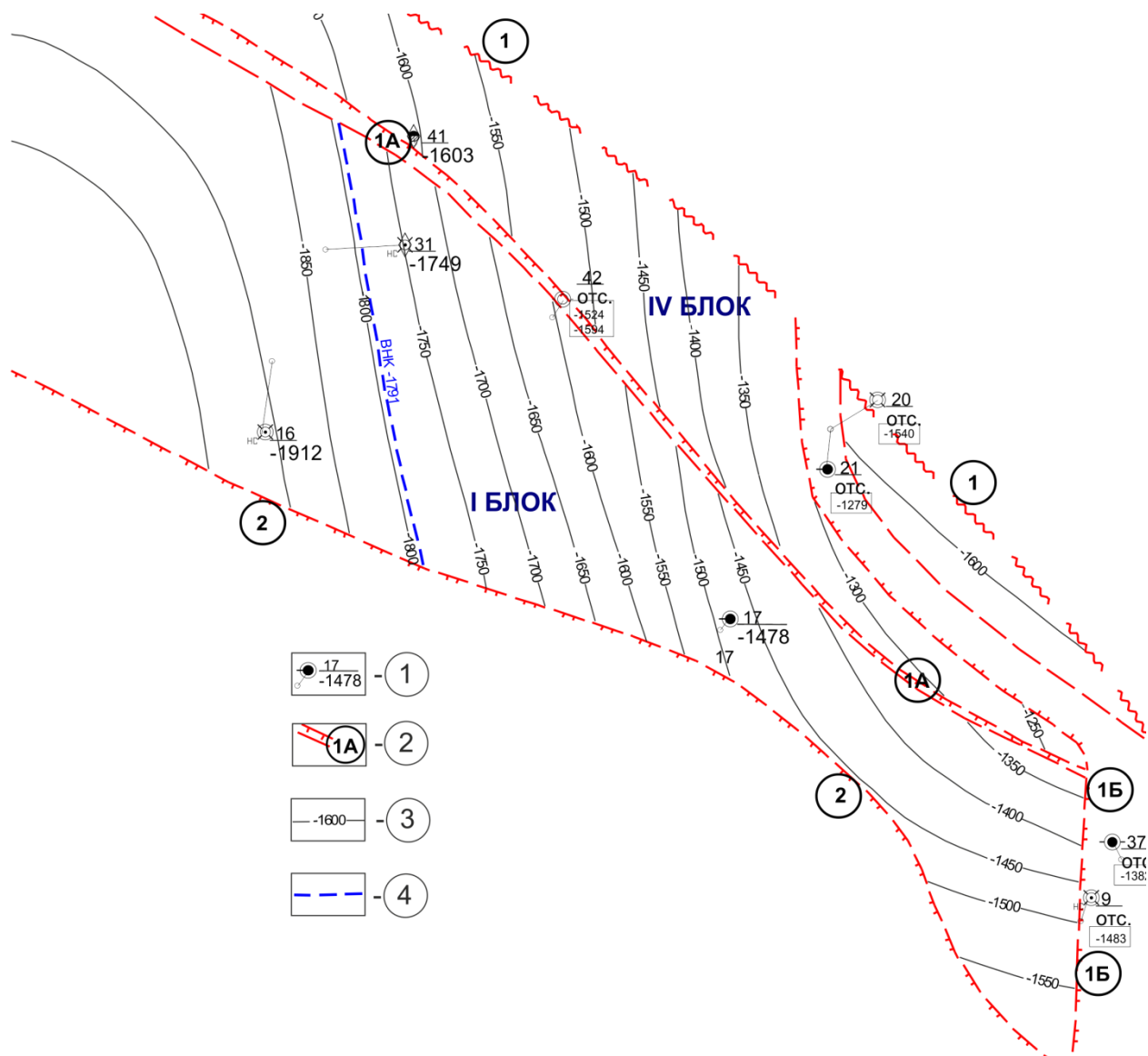


Рисунок 1 – Схема структурной поверхности петриковского горизонта I и IV блоков БМ (отдел поисков и разведки залежей углеводородов БелНИПИнефть, 2014 год)

Условные обозначения (цифры в кружках): 1 – скважина: в числителе – номер, в знаменателе – абсолютная отметка кровли горизонта; 2 – разрывное нарушение; 3 – стратоизогипса; 4 – водо-нефтяной контакт

В ходе второго этапа работ по скв. Березинская 21 в период с декабря 2017 г. по февраль 2018 г. было закачено 2 100 м³ пресной воды. После периода перераспределения пластового давления в зоне дренирования скважина была введена в добычу с дебитом жидкости 14,9 т/сут. К концу подэтапа добычи в сентябре 2018 г. дебит жидкости снизился до 1,8 т/сут (рис. 3). Дополнительная добыча нефти в ходе второго этапа работ по рассолонению составила 365 т.

Специалистами БелНИПИнефть в ходе ОПР осуществлялся отбор и мониторинг проб для определения природы попутной воды в течение этапа эксплуатации скважины. Химический анализ проб показал, что пробы представляет собой смесь пресной технологической воды и пластовых рассолов, обогащённую большим количеством растворённого галита. Данный результат ещё раз подтверждает наличие катагенетического галита и процесс растворения его закачиваемой пресной водой.

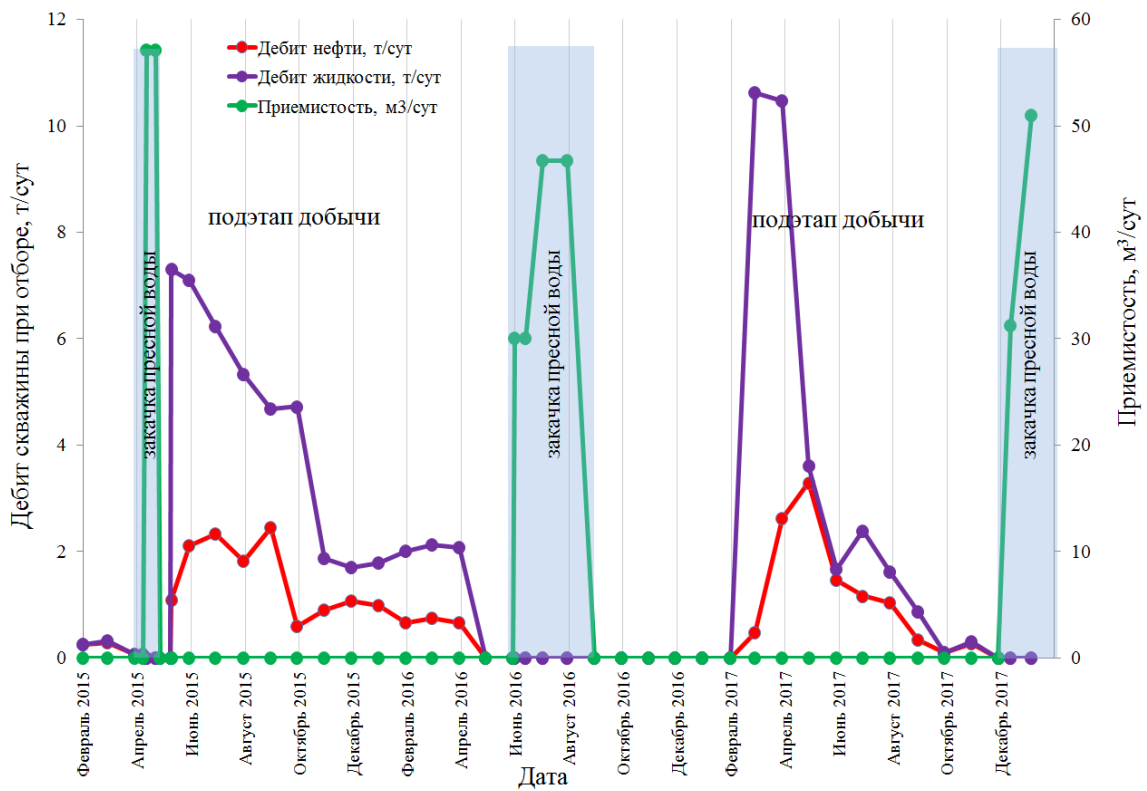


Рисунок 2 – Динамика работы скв. 17 БМ до и после проведения ОПР

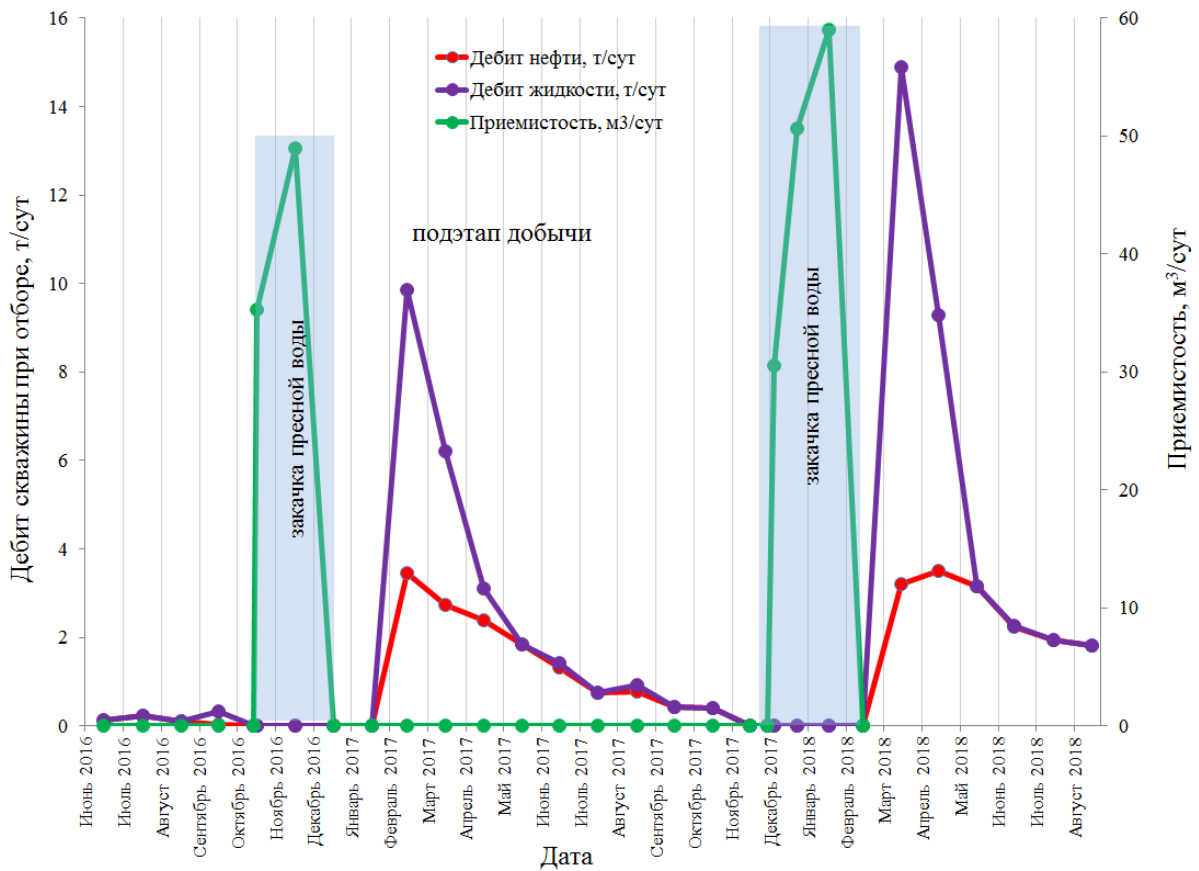


Рисунок 3 – Динамика работы скв. 21 БМ до и после проведения ОПР

Аналогичные опытно-промысловые работы были спроектированы и выполнены по скв. Березинская 3 (II блок месторождения), Березинская 7 (III блок). Общая дополнительная добыча нефти по скв. Березинская 3, 7, 17, 21 в ходе ОПР составила 1,9 тыс. т.

В настоящее время в институте БелНИПИнефть освоена технология гидродинамического моделирования процесса рассолонения, учитывающая изменение пористости и проницаемости пород в процессе взаимодействия пресной воды и породы. По результатам расчётов на геолого-гидродинамических моделях месторождения за счёт опытно-промысловых работ по рассолонению в скв. 3, 7, 17, 21 Березинских в 2019 г. дополнительная добыча нефти может составить 1,4 тыс. т.

Положительные результаты ОПР по освоению новой технологии на скважинах БМ свидетельствуют о перспективности данного направления и о необходимости тиражирования данной технологии на других объектах.

Основные выводы. Катагенетическая минерализация (галитизация) пород-коллекторов нефтяных месторождений широко развита в пределах подсолевых и межсолевых залежей нефти Припятского прогиба, в том числе и на Березинской площади. Технология разработки низкопроницаемых засоленных коллекторов предложена коллективом специалистов института БелНИПИнефть и запатентована изобретением «Способ повышения проницаемости засоленного низкопроницаемого нефтяного пласта». Согласно изобретению спроектированы и выполняются ОПР на скв. 3, 7, 17, 21 БМ. Техничко-экономический эффект в ходе ОПР показал перспективность данной технологии (дополнительная добыча нефти по скважинам составила 1,9 тыс. т). Внедрение предлагаемой методики освоения и эксплуатации скважин, сложенных низкопроницаемыми засоленными коллекторами, позволит: увеличить интегральную проницаемость (продуктивность) пород-коллекторов в зоне нагнетания пресной воды; интенсифицировать добычу нефти в засоленных низкопроницаемых залежах; получать весомый экономический эффект при незначительных затратах на опытно-промысловые работы. Перспективными объектами для внедрения данной технологии являются скважины Северо-Березинского, Восточно-Березинского, Славянского, Судовицкого, Прохоровского месторождений, вскрывших засоленные низкопроницаемые коллектора. По результатам расчётов на геолого-гидродинамических моделях месторождений за счёт опытно-промысловых работ по рассолонению в скв. 3, 7, 17, 21 Березинских в 2019 г. дополнительная добыча нефти может составить 1,4 тыс. т.

Библиографические ссылки

1. Жогло В. Г., Махнач А. А., Грибик Я. Г., Будник Н. И., Виноцкая Н. М. К вопросу о влиянии галитовой минерализации на особенности разработки залежей нефти в низкопроницаемых породах-коллекторах Припятского прогиба // Природ. ресурсы. 2014. № 1. С. 14–21.

2. Жогло В. Г., Будник Н. И., Виноцкая Н. М., Гримус С. И., Халецкий А. В. Влияние галитовой минерализации на эффективность разработки Семилукской залежи (Золотухинское месторождение нефти, Припятский прогиб) // Природ. ресурсы. 2015. № 2. С. 40–51.

3. Жогло В. Г. Способ повышения проницаемости засоленного низкопроницаемого нефтяного пласта [Текст]: пат. 2538549 Российская Федерация МПК E21B 43/00, E21B 43/22 / В. Г. Жогло [и др.]; заявитель и патентообладатель Республиканское унитарное предприятие «Производственное объединение «Белоруснефть» (ВУ). № 2013126327/03; заявл. 07.06.2013; опубл. 10.01.2015. 9 с.

4. Жогло В. Г., Махнач А. А., Демьяненко Н. А., Гримус С. И., Виноцкая Н. М., Будник Н. И. Об одной типовой проблеме разведки и разработки залежей нефти в соленосных бассейнах (на примере Геологического месторождения Беларуси) // Нефть. Газ. Новації. 2013. № 2. С. 23–28.

5. Махнач А. А. Катагенез и подземные воды. Минск : Наука и техника, 1989.

6. Полезные ископаемые Беларуси: К 75-летию БелНИГРИ / Редкол.: П. З. Хомич и др. Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДОИЗВЛЕЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКАЧИВАЕМОЙ В ПЛАСТ ВОДЫ С РЕГУЛИРУЕМЫМ УГЛОМ СМАЧИВАНИЯ

И. В. Войтов¹, А. Р. Цыганов¹, К. А. Лобов²

¹Белорусский государственный технический университет,
ул. Свердлова 13а, 220006 Минск, Республика Беларусь

²Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти,
ул. Книжная 15а, 246003 Гомель, Республика Беларусь; k.lobov@beloil.by

Установлены предельные значения углов смачивания, при которых наблюдается рост коэффициента вытеснения и дебита нефтяных скважин. Показано, что уменьшение угла смачивания ведёт к повышению скорости фильтрации до величины, достаточной для нефтевытеснения из низкопроницаемых коллекторов. Определено, что начальная скорость фильтрации и начальный дебит зависят только от вязкости вытесняемой фазы, а конечная скорость фильтрации и конечный дебит – только от вязкости вытесняющей фазы.

Ключевые слова: остаточные запасы нефти; закачиваемая в пласт вода; угол смачивания.

Известно, что при разработке нефтяных и газовых месторождений значительные объёмы технической воды расходуются на поддержание пластового давления, что позволяет продлевать период фонтанирования скважин, обеспечивать стабильную работу механизированного добывающего фонда и, в конечном счёте, поддерживать необходимые уровни добычи нефти и газа.

В настоящее время для заводнения пластов используется техническая вода, подготовленная по критериям, не оказывающим существенного влияния на процесс вытеснения нефти из гидродинамически изолированных зон и матричной части нефтяного коллектора. Даже при достижении проектных коэффициентов нефтеизвлечения в пластах остаются огромные запасы углеводородов. Поэтому выявление новых полезных свойств воды, закачиваемой в нефтяные пласты для увеличения коэффициентов вытеснения и охвата, по нашему мнению, является приоритетной задачей. Проведённые нами исследования по оценке влияния трибоакустического воздействия на жидкости показали, что обработанная вода изменяет свой краевой угол смачивания, и при контакте с нефтесодержащей породой способствует более эффективному вытеснению нефти из мелких пор и каверн, что в конечном итоге приводит к увеличению дебитов скважин.

Лабораторные определения углов смачивания проводились методом Вошборна на мелко раздробленных образцах доломита. В фиксированные моменты времени t определялась масса m и квадрат массы m^2 , впитываемой в образец воды и сила поверхностного натяжения. По начальному прямолинейному участку зависимости $m^2 - t$ определялся тангенс угла α наклона прямой к оси времени. Угол смачивания находился из соотношения

$$\cos \theta = \tan \alpha \cdot \frac{\eta}{\rho^2 \sigma C}, \quad (1)$$

где ρ , η – плотность и вязкость воды; σ – коэффициент поверхностного натяжения; C – константа капиллярности, определяемая экспериментально.

Средневзвешенное значение угла смачивания образцов доломита кавитированной водой составило 30° , при этом данный угол до обработки воды в трибоакустическом реакторе составлял 60° .

Эксперименты также показали, что через 2 сут угол смачивания обработанной воды возвращается к первоначальному значению, которое было до обработки. Результаты опреде-

ления коэффициента нефтевытеснения на нефтесодержащих образцах с применением кавитированной минерализованной воды выявили его рост. В этой связи, в данной работе решалась задача изучения особенностей нефтевытеснения в трещинно-поровом коллекторе при капиллярной пропитке на основе упрощённой модели. Частным случаем такой модели являлась подзадача по разработке и анализу модели процесса вытеснения нефти водой из единичного блока при капиллярной пропитке, оценке с качественной точки зрения характера зависимости скорости вытеснения, коэффициента вытеснения, капиллярного давления, дебита скважины от времени или насыщенности смачивающей фазой при различных значениях угла смачивания.

Процесс вытеснения нефти из единичного блока трещиновато-порового коллектора, полностью окруженного водой, изучался в работе [1] при двухфазной фильтрации на основе упрощённой гидродинамической модели. В этом случае рассматривалось одномерное вытеснение из порового блока, верхний и нижний торцы которого открыты, а боковая поверхность непроницаема для течения. Вода поступает в нижний торец блока, вытесняя нефть, которая выходит из верхнего торца блока в трещины, заполненные водой или нефтью. Считалось, что вода – смачивающая, а нефть – не смачивающая фаза. Предполагалось: жидкости несжимаемые; капиллярное давление на межфазной границе постоянно; фазовые проницаемости неизменны. Два последних допущения далеки от реального поведения жидкостей в пласте, где относительные фазовые проницаемости и капиллярное давление зависят от водонасыщенности. Основываясь на модели [1], в данной работе дополнительно задаются: 1) линейный закон изменения водонасыщенности в зависимости от координаты Z – высоты подъёма фронта вытесняющей воды, считая от нижнего торца блока, 2) экспоненциальные законы изменения экспериментальных значений относительных фазовых проницаемостей для нефти и воды и функции Леверетта в зависимости от водонасыщенности.

Для определения водонасыщенности используем линейную аппроксимацию

$$S = \frac{(S^* - S_{B.O.})}{H} Z + S_{B.O.}, \quad (2)$$

где S – водонасыщенность; $S^* = 1 - S_{H.O.}$; $S_{B.O.}$, $S_{H.O.}$ – остаточные водонасыщенность и нефтенасыщенность; H – высота блока.

Для аппроксимации экспериментальных кривых относительных фазовых проницаемостей используем экспоненциальные зависимости

$$k_{H.O.} = a_1 e^{b_1 S}, \quad (3)$$

$$k_{B.O.} = a_2 e^{b_2 S}, \quad (4)$$

где $k_{H.O.}$, $k_{B.O.}$ – относительные фазовые проницаемости для нефти и воды; a_1 , a_2 , b_1 , b_2 – рациональные числа ($a_1 > 0$, $a_2 > 0$, $b_1 < 0$, $b_2 > 0$).

Для аппроксимации экспериментальных значений функции Леверетта, используем экспоненциальную зависимость

$$J(s) = a_3 e^{b_3 s}, \quad (5)$$

где a_3 , b_3 – рациональные числа ($a_3 > 0$, $b_3 < 0$).

Построим график зависимости коэффициента вытеснения от времени t при различных углах смачивания (рис. 1). Процессы капиллярной пропитки чувствительны к величине угла смачивания. С увеличением угла смачивания коэффициент вытеснения уменьшается, а время вытеснения увеличивается, причём скорость изменения коэффициента вытеснения и время вытеснения заметно увеличиваются при $\Theta > 50^\circ$.

Самопроизвольная капиллярная пропитка наблюдается при углах смачивания, меньших 49° , процесс впитывания наблюдается в области углов от 49° до 73° , при углах, больших 73° , впитывание не наблюдается [1]. Согласно [3], породы по смачиваемости принято делить на гидрофильные ($\Theta \leq 45^\circ$), гидрофобные ($\Theta \geq 70^\circ$) и промежуточные ($45^\circ < \Theta < 70^\circ$). По лабораторным данным, для образцов Речицкого месторождения задонского горизонта углы сма-

чивания колебались в пределах $21\text{--}58^\circ$, а для образцов Осташковичского месторождения семилукского горизонта в пределах $30\text{--}67^\circ$ [3].

При изменении угла смачивания от 0° до 10° время вытеснения увеличивается лишь на 1,5 %, а коэффициент вытеснения уменьшается на 16%. По сравнению с начальным значением ($\Theta = 0^\circ$) время вытеснения при $\Theta = 60^\circ$ увеличивается почти в 2 раза, при $\Theta = 70^\circ$ – почти в 3, при $\Theta = 80^\circ$ – почти в 6 раз, а коэффициент вытеснения уменьшается соответственно на 31, 44 и 61 %.

Построим графики зависимости скорости вытеснения $u_{\text{выт}}$ от насыщенности смачивающей фазой s при различных углах смачивания (рис. 2) и от времени при различных значениях вязкостей воды и нефти (рис. 3). Для любых значений угла смачивания наибольшее значение имеет начальная скорость вытеснения (при $s = s_{\text{в,о}}$). С ростом угла смачивания начальная скорость заметно уменьшается. В условиях капиллярной пропитки с преобладанием капиллярных сил дебит скважины прямо пропорционален площади дренирования скважины и скорости фильтрации (вытеснения).

Построим графики зависимости дебита скважины от насыщенности смачивающей фазой s при различных углах смачивания (рис. 4). При любом угле смачивания с увеличением водонасыщенности дебит скважины уменьшается, причём дебит падает быстрее в интервале водонасыщенности, где $0 < M(s) < 1$, а в интервале, где $M(s) > 1$, скорость падения уменьшается.

При изменении углов смачивания в интервале $(0, 10^\circ)$ дебит скважины в начале и конце вытеснения изменяется незначительно. Например, уменьшение угла смачивания с 10° до 0° приводит в конце вытеснения к увеличению дебита скважины на $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ или на $36,5 \text{ м}^3/\text{год}$ (на 1 %). При изменении углов смачивания в интервале $(10^\circ, 70^\circ)$ дебит скважины в начале и конце вытеснения изменяется значительно. Например, уменьшение угла смачивания с 70° до 30° приводит в конце вытеснения к увеличению дебита скважины на $4,7 \text{ м}^3/\text{сут}$ или на $1\,715 \text{ м}^3/\text{год}$ (на 147 %).

Таким образом, при некоторых условиях возможно увеличение дебита скважины в конце вытеснения. Например, при $\mu_{\text{в}} = 0,1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ($\mu_{\text{н}} = 1,22 \text{ мПа} \cdot \text{с}$) имеем $S_{\text{кр}} = 0,574 \in [0,19; 0,68]$ и минимальное значение дебита равно $48,5 \text{ м}^3/\text{сут}$ (при времени вытеснения $t_{\text{выт}} = 194 \text{ сут}$), которое возрастает к концу вытеснения ($t_{\text{выт}} = 265 \text{ сут}$) до $70,6 \text{ м}^3/\text{сут}$. При этом дополнительная добыча нефти составит $4\,228 \text{ м}^3$. При $\mu_{\text{н}} = 5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ($\mu_{\text{в}} = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$) имеем $S_{\text{кр}} = 0,625 \in [0,19; 0,68]$ и минимальное значение дебита равно $6,6 \text{ м}^3/\text{сут}$ (при времени вытеснения $t_{\text{выт}} = 1\,489 \text{ сут}$), которое возрастает к концу вытеснения ($t_{\text{выт}} = 1\,772 \text{ сут}$) до $7,1 \text{ м}^3/\text{сут}$. При этом дополнительная добыча нефти составит $1\,939 \text{ м}^3$. Эффект повышения дебита вызван тем, что со временем капиллярное давление уменьшается медленнее, чем обобщённая вязкость.

Построенная упрощённая модель вытеснения при капиллярной пропитке позволяет лучше понять с качественной точки зрения закономерности вытеснения в трещинно-поровом коллекторе при двухфазной фильтрации.

На четвёртой стадии разработки при высокой обводнённости скважин, вытеснение нефти из блоков происходит в основном за счёт капиллярной пропитки или, как сказано в [2], за счёт «капиллярного насоса».

Таким образом, нами установлены предельные значения углов смачивания, при которых наблюдается рост коэффициента вытеснения и дебита нефтяных скважин. Показано, что уменьшение угла смачивания ведёт к повышению скорости фильтрации до величины, достаточной для нефтевытеснения из низкопроницаемых коллекторов. Определено, что начальная скорость фильтрации и начальный дебит зависят только от вязкости вытесняемой фазы, а конечная скорость фильтрации и конечный дебит – только от вязкости вытесняющей фазы.

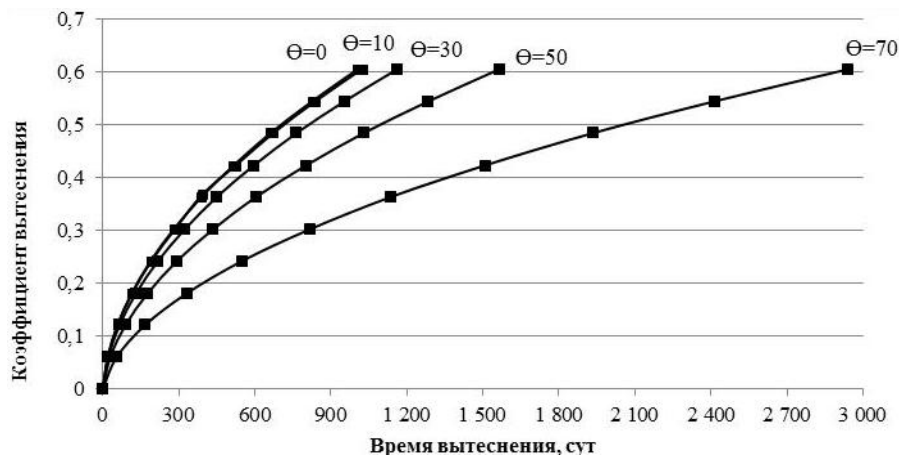


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента вытеснения от времени при различных углах смачивания

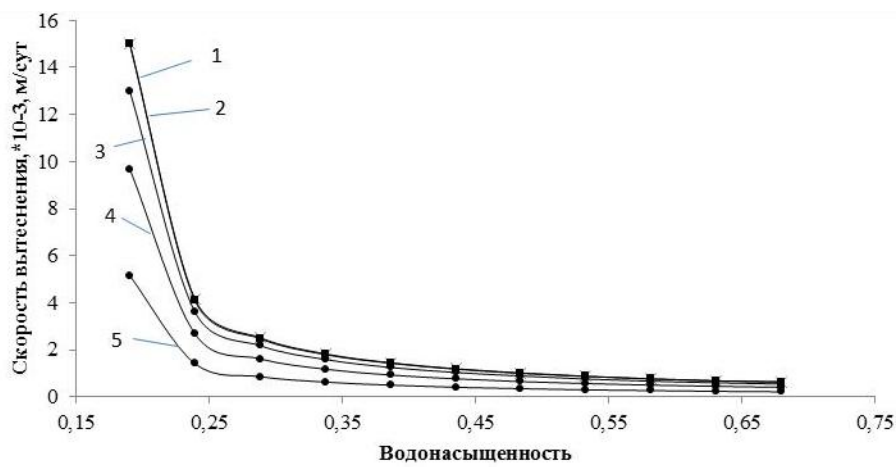


Рисунок 2 – Зависимости скорости вытеснения от насыщенности смачивающей фазой при различных углах смачивания
 1 – $\Theta = 0^\circ$; 2 – $\Theta = 10^\circ$; 3 – $\Theta = 30^\circ$; 4 – $\Theta = 50^\circ$; 5 – $\Theta = 70^\circ$

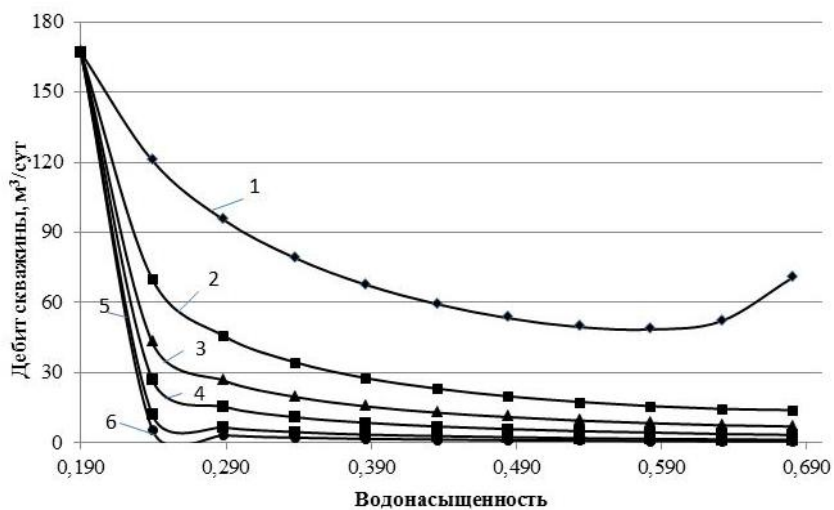


Рисунок 3 – Зависимость дебита скважины от водонасыщенности при различных значениях вязкости вытесняющей фазы
 1 – $\mu_{в} = 0,1$; 2 – $\mu_{в} = 0,5$; 3 – $\mu_{в} = 1$; 4 – $\mu_{в} = 2$; 5 – $\mu_{в} = 5$; 6 – $\mu_{в} = 10$. Значения вязкостей даны в мПа · с.

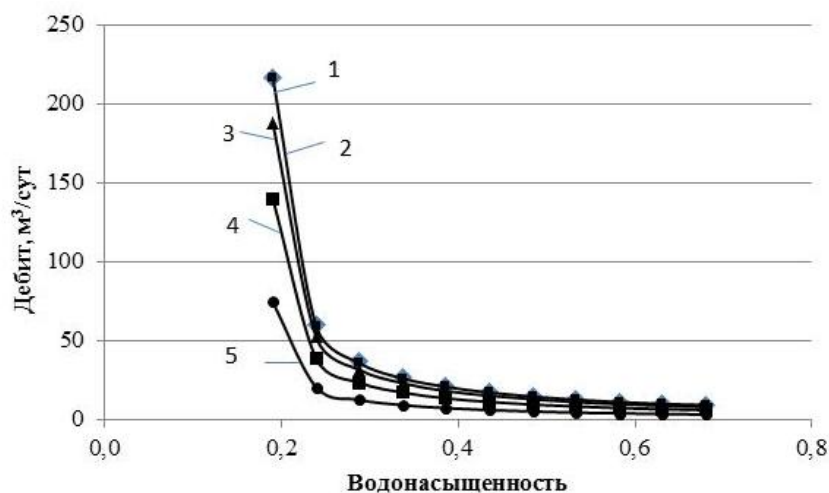


Рисунок 4 – Зависимости дебита скважины от насыщенности смачивающей фазой при различных углах смачивания
 1 – $\Theta = 0^\circ$; 2 – $\Theta = 10^\circ$; 3 – $\Theta = 30^\circ$; 4 – $\Theta = 50^\circ$; 5 – $\Theta = 70^\circ$

Библиографические ссылки

1. *Голф-Рахт Т. Д.* Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов. М. : Недра, 1986.
2. *Борисов А. Г.* Капиллярно-гидродинамическая модель пласта залежи – как новый взгляд на механизмы извлечения нефти // Нефтепромысловое дело. 2009. № 8. С. 41–43.
3. *Цалко П. Б., Мартынович О. Ф., Пахольчук А. А.* Карбонатные коллекторы нефтяных залежей Припятского прогиба. Минск : Наука и техника, 1986.

УДК 550.84.02(476)

ОПТИМАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ НЕФТЕПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР (НА ПРИМЕРЕ МАКАНОВИЧСКОЙ ПЛОЩАДИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА)

А. М. Лопатин, И. П. Русинович

Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти,
 ул. Книжная 15а, 246003 Гомель, Республика Беларусь; i.rusinovich@beloil.by, a.lopatin@beloil.by

Рассмотрен комплекс сейсмических методов, используемых при подготовке нефтеперспективных структур.

Ключевые слова: сейсмические методы; нефтеперспективные структуры; Беларусь.

В административном отношении Макановичская площадь (далее МП) расположена в Хойникском р-не Гомельской обл. Ближайшие нефтяные месторождения: Восточно-Макановичское, Карташовское Москвическое и Котельниковское. Макановичская подсолевая структура выявлена в 1968 г. сейсморазведочными работами КМПВ-МОВ треста «Белоруснефтегеофизика» (с/п 1, 2, 3, 4/68) по поверхности кристаллического фундамента.

Основной целью проводимых работ являлось уточнение геологического строения района, прилегающего к Омельковщинскому разлому, с которым связаны высокие перспективы нефтеносности.

В последующие 1969 г. и в 1973–1976 гг. на МП уточнялось строение кристаллического фундамента, подсолевых, межсолевых и верхнесоленосных отложений, а также местоположение и амплитуда Омельковщинского разрывного нарушения. В 1977 г. трестом «Белоруснефтегеофизика» закончена подготовка Мокановичской структуры и выданы геофизические материалы на передачу её под поисковое бурение [1]. В 1978 г. структура введена в поисковое бурение скв. № 1-Мокановичской согласно проекту поискового бурения на МП, составленному Гомельским отделом УкрГИПРОНИИнефть (1978 г.). Подсолевые отложения в разрезе скважины водонасыщены, вскрыты на 166 м выше, чем предполагалось по данным сейсморазведки. Межсолевые отложения отсутствуют. В 1979 г. скважина ликвидирована по геологическим причинам [2].

По результатам бурения скв. № 1-Мокановичской в сводовой части Мокановичской структуры была заложена поисковая скв. № 2-Мокановичская, которая пробурена в 1980 г. в более оптимальных условиях, чем скв. № 1. В скв. № 2 семилукские отложения водонасыщены, межсолевые отложения отсутствуют. Скв. № 2-Мокановичская также ликвидирована по геологическим причинам.

В тектоническом отношении МП приурочена к Омельковщинской субрегиональной зоне локальных поднятий, расположенной Азерецко-Хобнинской тектонической ступени Центральной структурной зоны Припятского прогиба. Мокановичская подсолевая структура выявлена в 1968 г. сейсморазведочными работами КМПВ-МОВ треста «Белоруснефтегеофизика» по поверхности кристаллического фундамента. В 2017 г. на МП была отработана серия сейсмических профилей 2Д МОГТ (217 011, 112, 113, 114, 115, 116) методом ОГТ, общей протяжённостью 100 пог. км, выполнена обработка и переобработка, интерпретация и переинтерпретация сейсмических материалов 2Д в объёме 265 пог. км. В пределах МП выявлены Ново-Мокановичская, Южно-Мокановичская и Партизанская структуры. Местоположение разломов, ограничивающих выявленные структуры, прослеживается по данным сейсморазведки 2Д (рис. 1).

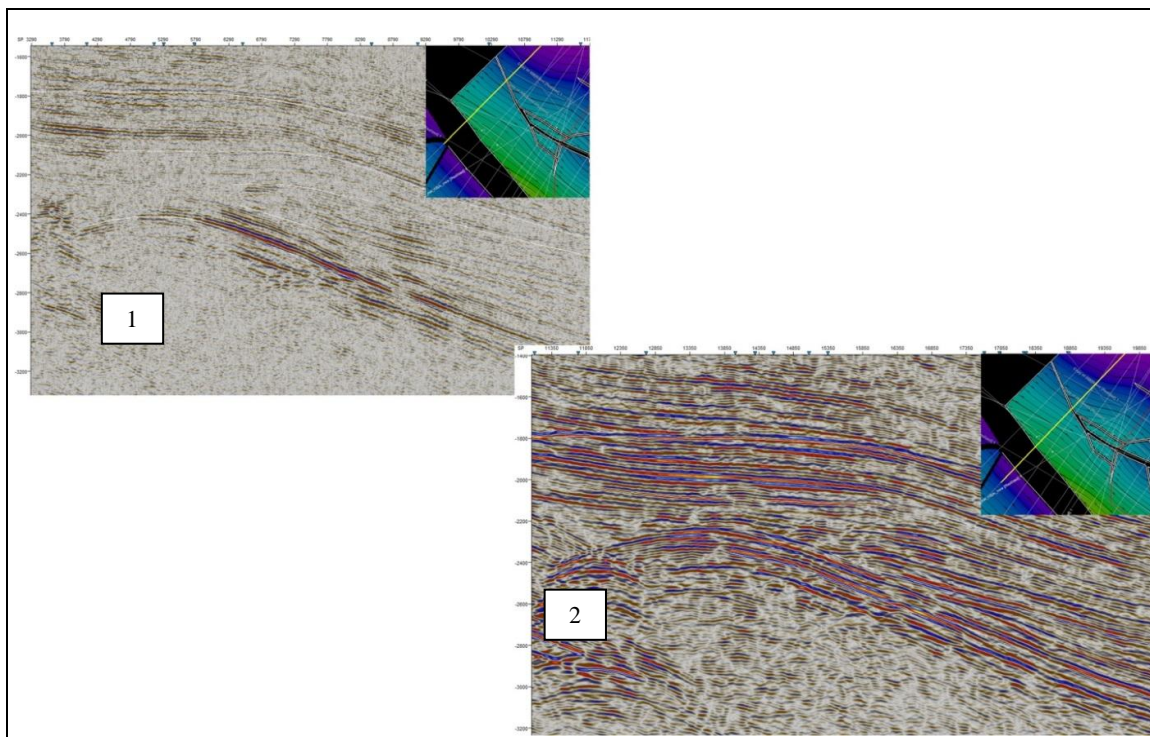


Рисунок 1 – Сопоставление фрагментов суммарных временных разрезов разных лет на МП
1 – проф. 214082; 2 – проф. 217011.

Согласно современным представлениям, по поверхности подсолевых терригенных отложений Ново-Макановичская структура представляет собой приподнятую (гребневую) часть моноклинально воздымающегося в юго-западном направлении Омельковщинского полиблока, ограниченного с юго-запада Омельковщинским субрегиональным разломом амплитудой 1 500–1 900 м. По структурообразующему Омельковщинскому разлому нефтеперспективные горизонты Ново-Макановичской структуры контактируют с нижнесолевыми отложениями, являющимися уверенным флюидоупором. Площадь исследований характеризуется благоприятными сейсмогеологическими условиями, что позволило получить достаточно информативные временные разрезы с протяжёнными сейсмическими отражениями, имеющими чёткую динамическую выраженность. На временных разрезах получены и прослежены отражения от всех целевых горизонтов.

Согласно стратиграфической привязке, корреляция сейсмических данных проведена по трём сейсмическим горизонтам (3D, 2D, 1Dt), как во временной, так и в глубинной области. По основным отражающим сейсмическим горизонтам проведены структурные построения.

Для выделения и трассирования разрывных нарушений на исследуемой площади применялась стандартная методика, которая базируется на обнаружении признаков разрыва сплошности осей синфазности на сейсмическом материале.

По сейсмическим материалам в 2014 г. уточнено геологическое строение Восточно-Макановичской подсолевой структуры и рекомендовано бурение поисковой скв. № 1-В-Макановичской.

Пробуренная в 2017 г. скв. № 1-В-Макановичская дала промышленный приток нефти и стала открывательницей Восточно-Макановичского месторождения, чем подтверждает перспективы нефтегазоносности МП.

Восточно-Макановичская подсолевая структура по поверхности подсолевых терригенных отложений (сейсмический горизонт 1Dt) представлена в виде моноклиального блока прямоугольной формы, ограниченного с юга и юго-запада структурообразующим Калининским разломом амплитудой от 50 м до 350 м. С востока блок ограничен субмеридиональным разрывным нарушением амплитудой 150–200 м. Свод структуры осложнён субширотным разломом, амплитудой 40–50 м. Малоамплитудным нарушением структура разделяется на 2 блока (условно северный и южный) (рис. 2).

Скв. № 1-В-Макановичская семилукские отложения вскрывает в пределах северного блока. Подсолевые терригенные отложения в пределах Восточно-Макановичской структуры погружаются в северо-восточном направлении от абсолютных отметок –3 870 м в вершине блока до абсолютных отметок –5 300 м в подножие.

С целью уточнения геологического строения Восточно-Макановичского подсолевого месторождения и оперативной оценки запасов углеводородов в конце 2017 г. была проведена комплексная интерпретация материалов 2Д и ВСП в скв. № 1-В-Макановичская, что позволило уточнить строение подсолевых комплексов месторождения, конфигурацию и местоположение структурообразующих разломов.

Скв. № 1-В-Макановичская заложена по данным сейсморазведки 2D. Скважина вскрыла подсолевые терригенные отложения (D_{3ln}) в своде структуры на гл. 4 298,5 м (–3 920 м), что на 80 м выше проектных данных. На гл. 4 181 м (–3 819 м) м скважина пересекла субширотное нарушение амплитудой порядка 40–45 м, которое по представленным сейсмическим материалам ранее не выделялось.

Ново-Макановичская подсолевая структура. Структура выявлена в западной сводовой части Макановичского блока. По подсолевым отложениям она ограничена: с юго-запада Омельковщинским субрегиональным разломом, амплитуда которого достигает 1 900 м, с юго-востока – малоамплитудным (100 м) нарушением. Минимальные абсолютные отметками кровли ланского горизонта в вершине структуры –3 000 м. Закрытие структуры картируется по замкнутой изогипсе –3 200 м.

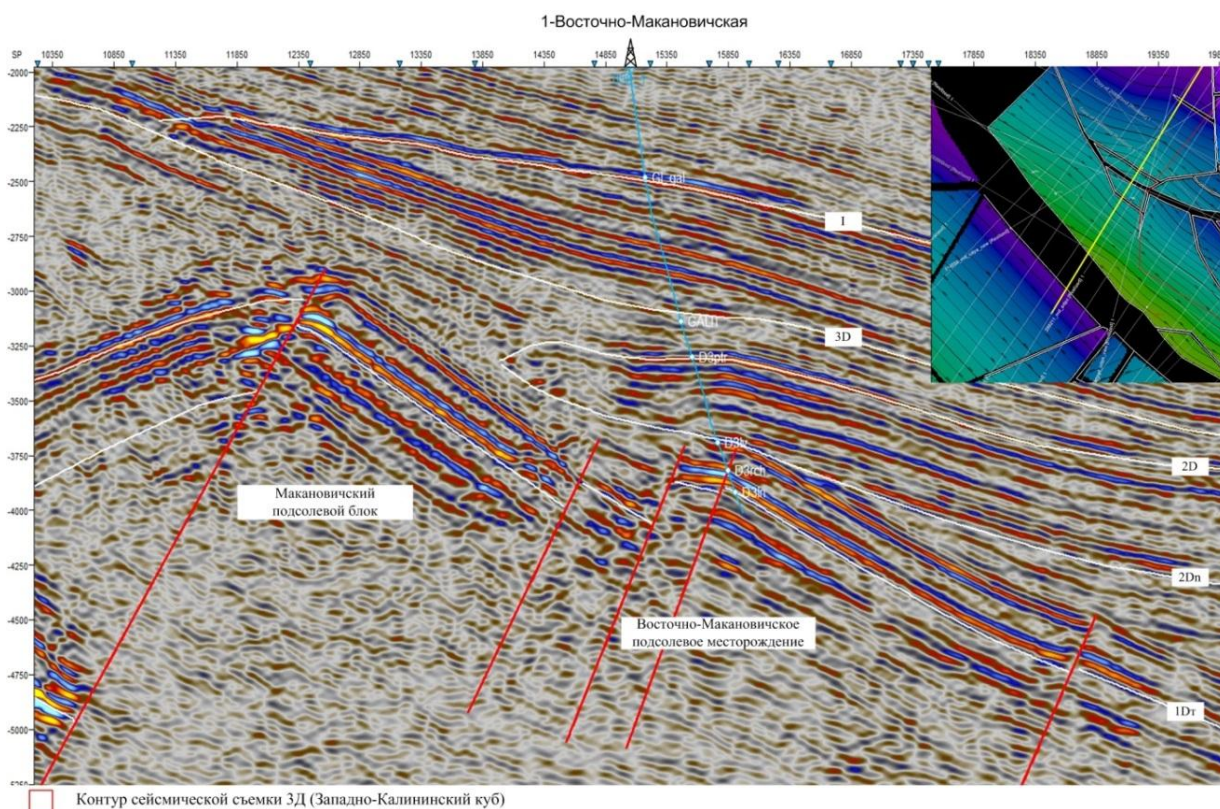


Рисунок 2 – Фрагмент глубинного динамического разреза
Проф. 217112, МП.

Размеры Ново-Мақановичской подсолёвой структуры по кровле ланского горизонта в плане составляют $5,0 \text{ км} \times 0,65 \text{ км}$, площадь – $2,063 \text{ км}^2$. Подсолёвые терригенные отложения в её пределах погружаются в северо-восточном направлении.

Структура наиболее детально изучена сейсморазведкой в связи, с чем является первоочередным объектом для постановки глубокого поисково-разведочного бурения. С целью выявления залежей УВ в вершине Ново-Мақановичской подсолёвой структуры на сейсмическом проф. 208090 (ПК 56.88) было рекомендовано бурение поисковой скв. №3-Мақановичская с проектной гл. 3 500 м и забоем в отложениях кристаллического фундамента (рис. 3).

По результатам интерпретации и переинтерпретации сейсмических материалов 2Д выделено три перспективных структуры (Ново-Мақановичская, Партизанская, Южно-Мақановичская); скорректировано местоположение структурно-образующих Калининского (район Восточно-Мақановичского месторождения) и Омельковщинского разломов; подготовлен паспорт Ново-Мақановичской подсолёвой структуры, а так же были выданы рекомендации на постановку поисково-разведочного бурения скв. № 3-Мақановичской.

Данная методика так же позволяет изучать малоамплитудные объекты, как в гребневой части моноклинали, так и на её склоне. Так же стоит добавить, что эта методика применима и для других структурно-тектонических зон Припятского прогиба, в том числе и на Шатилковской моноклинали, где развиты малоамплитудные ловушки.

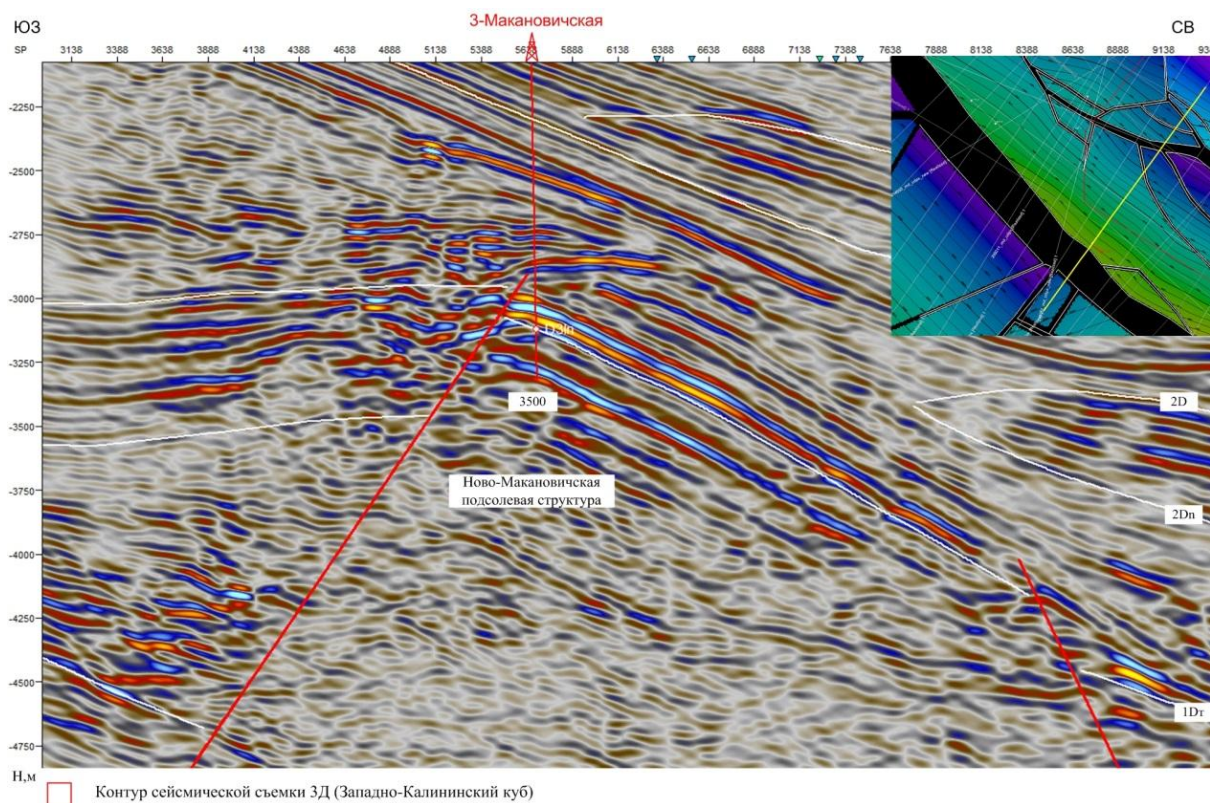


Рисунок 3 – Фрагмент глубинного динамического разреза
Проф. 208090, МП.

Библиографическая ссылка

1. Отчёт по теме «Научное обоснование ввода и составление проектов поисково-разведочного бурения на новых площадях объединения «Белоруснефть». Макановичская площадь. 1978.
2. Паспорт Макановичской структуры, подготовленной трестом «Белоруснефтьгеофизика» под глубокое поисковое бурение на нефть и газ. 1977.
3. Отчёт по теме «Обработка и интерпретация сейсморазведочных данных с целью выявления, подготовки к бурению структур и детализации строения месторождений на территории деятельности РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» в 2008 г.». 2009.

УДК 550.84.02(476)

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНОГО РАЗРЕЗА ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА (НА ПРИМЕРЕ ОСТАШКОВИЧСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Е. Г. Паремский, А. С. Грудинин, А. В. Кондратенко
Нефтегазодобывающее управление «Речицанефть»,
ул. Ленина 43, 247483 Речица, Республика Беларусь; e.paremsky@beloil.by

Рассмотрены различные методы определения границы распространения пластов-коллекторов и построения карт эффективной мощности в условиях неоднородного разреза

Ключевые слова: залежи углеводородов; моделирование строения месторождений; Припятский прогиб.

В процессе моделирования строения месторождений углеводородов нередко возникают сложности с геометризацией залежей, замещающихся (выклинивающих) продуктивных пластов [3]. Доля таких залежей в Припятском прогибе достаточно велика, поэтому требуется усовершенствование применяемых при подсчёте запасов методик.

Учёт закономерностей и условий формирования процессов, в результате которых по площади и разрезу структур, содержащих углеводороды, происходило литологическое замещение пластов-коллекторов, выбор модели и способов геометризации коллекторов в неоднородном разрезе существенно влияет на определение объёма нефтесодержащих пород, являющегося одним из основных подсчётных параметров, а также на оценку коэффициента нефтеотдачи [6].

В настоящей работе проведен анализ существующих методов и показаны их слабые и сильные стороны.

При геометризации границ залежей важно установить *природу* литологического ограничения пород-коллекторов. Выделяется два типа границ:

Типичные *модели* литологического ограничения пород-коллекторов для нефтяных месторождений Припятской нефтегазоносной области приведены на рис. 1.

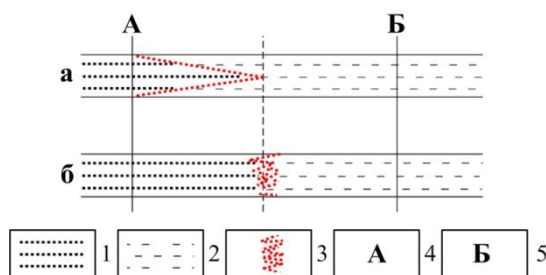


Рисунок 1 – Модели литологического ограничения коллекторов в геологическом разрезе
 1 – порода-коллектор; 2 – порода-неколлектор; 3 – зона замещения пород-коллекторов породами-неколлекторами; 4 – скважина, вскрывшая породу-коллектор; 5 – скважина, пробуренная в зоне отсутствия пород-коллекторов.

В настоящее время существуют различные методы определения границы распространения пластов-коллекторов и построения карт эффективной мощности в условиях неоднородного разреза, среди которых наиболее часто используемые при подсчёте запасов – методы нелинейной и линейной интерполяции. I) Метод *нелинейной интерполяции* предусматривает, что мощность коллектора сводится к «нулю» по мере приближения к литологической границе, принимаемой на середине расстояния между скважинами, в которых выделены пласты-коллекторы, и, в которых они отсутствуют (рис. 2) [5]. II) Метод *линейной интерполяции*, описанный в работах [1, 8], предусматривает, что в случае замещения коллектора породами неколлекторами при условии сохранения общей мощности изучаемого стратиграфического разреза мощность пласта-коллектора, выявленная в скважине, остаётся неизменной до середины расстояния между скважинами. Изопахиты будут проходить не параллельно к линии замещения, уменьшаясь до нуля, а будут «упираться» в линию, ограничивающую зону замещения коллекторов (рис. 2) [1, 6]. III) Метод *линейной интерполяции*, предложенный А. В. Копытовым, изображает изопахитами изменение мощности продуктивного пласта в целом с учётом мощности замещенных пород-коллекторов неколлекторами (мощность аналогов определяется при корреляции рассматриваемых разрезов по методам радиоактивного каротажа). Граница литологического замещения пород-коллекторов проводится на середине расстояния между скважинами (рис. 2) [4]. IV) З. Г. Борисенко предложен *метод линейной интерполяции*, когда линия литологического замещения пород-коллекторов определяется по предельным значениям коллекторских свойств [2]. Граница пласта-коллектора может быть

установлена с учётом граничных значений параметров, разделяющих породы на коллекторы и неколлекторы (рис. 2).

Для залежей Припятского прогиба такими параметрами являются значения пористости ($K_{по}$) и объёмной глинистости ($K_{гл}$), определённые геофизическими методами, в сопоставлении с результатами испытания скважин.

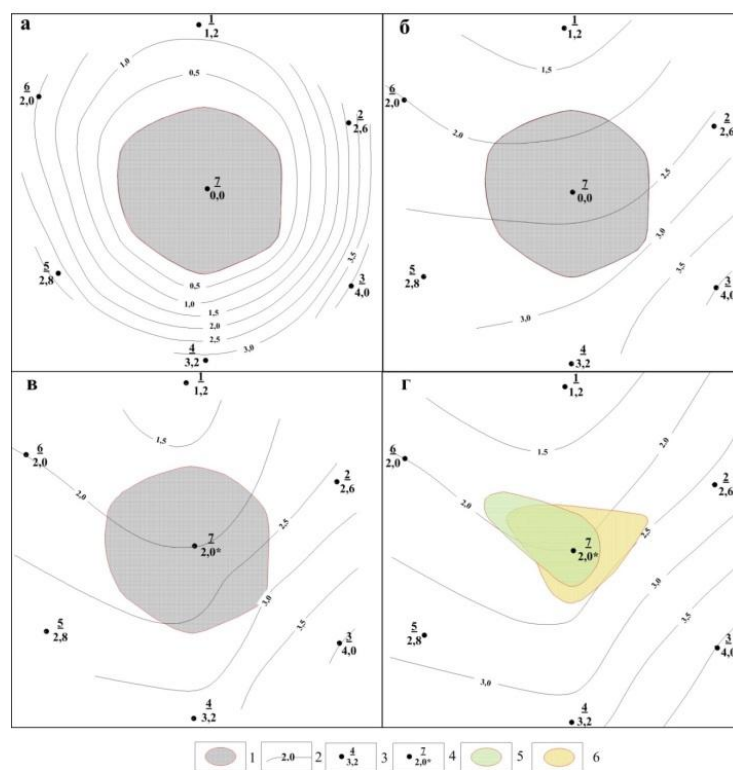


Рисунок 2 – Пример построения карт эффективной мощности

Метод: а – I; б – II; в – III; г – IV. 1 – зона отсутствия пластов-коллекторов; 2 – изопахиты, м; 3 – номер скважины (числитель), мощность пласта-коллектора (знаменатель); 4 – номер скважины (числитель), мощность аналога пласта-коллектора (знаменатель); 5 – зона отсутствия пластов-коллекторов по предельным значениям пористости; 6 – зона отсутствия пластов-коллекторов по предельным значениям глинистости.

Цель настоящей статьи – на примере Осташковичского нефтяного месторождения Припятского прогиба (далее – ОНМ), приуроченного к карбонатным отложениям, показать различные варианты геометризации границы распространения пластов-коллекторов и особенности построения карт эффективной мощности в условиях неоднородного разреза. ОНМ приурочено к Речицко-Вишанской региональной зоне локальных поднятий на гребне одноименной ступени в Северном ареале Припятского грабена. Промышленная нефтеносность месторождения связана с девонскими отложениями подсолевого терригенного и карбонатного, межсолевого (карбонатного) комплексов Припятского нефтегазоносного бассейна.

Объектом исследования является залежь нефти стреличевских слоёв воронежского горизонта. Продуктивная часть стреличевской пачки состоит из двух участков: западного и восточного. Залежь пластовая, тектонически экранированная с северо-запада, юго-запада, юга и юго-востока. С северной стороны в направлении с северо-запада на юго-восток почти на всём протяжении западный и восточный участки ограничиваются литологической зоной отсутствия пород-коллекторов, проходящей на середине расстояния между скважинами, вскрывшими коллектор, и скважинами, в которых он отсутствует. Коллекторами нефти являются преимущественно доломиты кавернозные, трещиноватые, пористые, реже известняки.

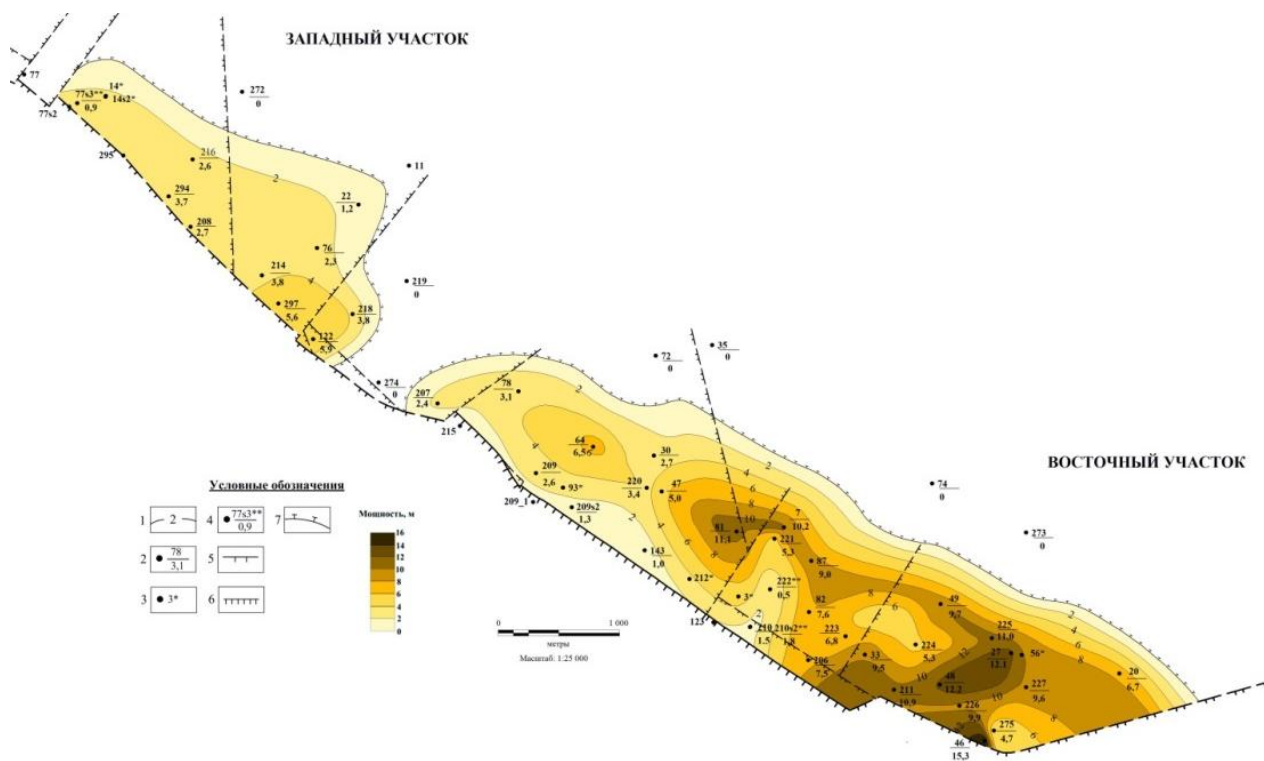


Рисунок 3 – Стреличевские слои воронежского горизонта ОНМ. Карта ЭНМ (метод I)
 1 – изопахиты; 2 – номер скважины (числитель), эффективная нефтенасыщенная мощность (знаменатель); 3 – каротаж некачественный, коллектор определен на качественном уровне; 4 – приразломные скважины; 5 – местоположение нарушения установлено недостаточно уверенно; 6 – местоположение нарушения установлено достаточно уверенно; 7 – литологическая граница распространения пород-коллекторов.

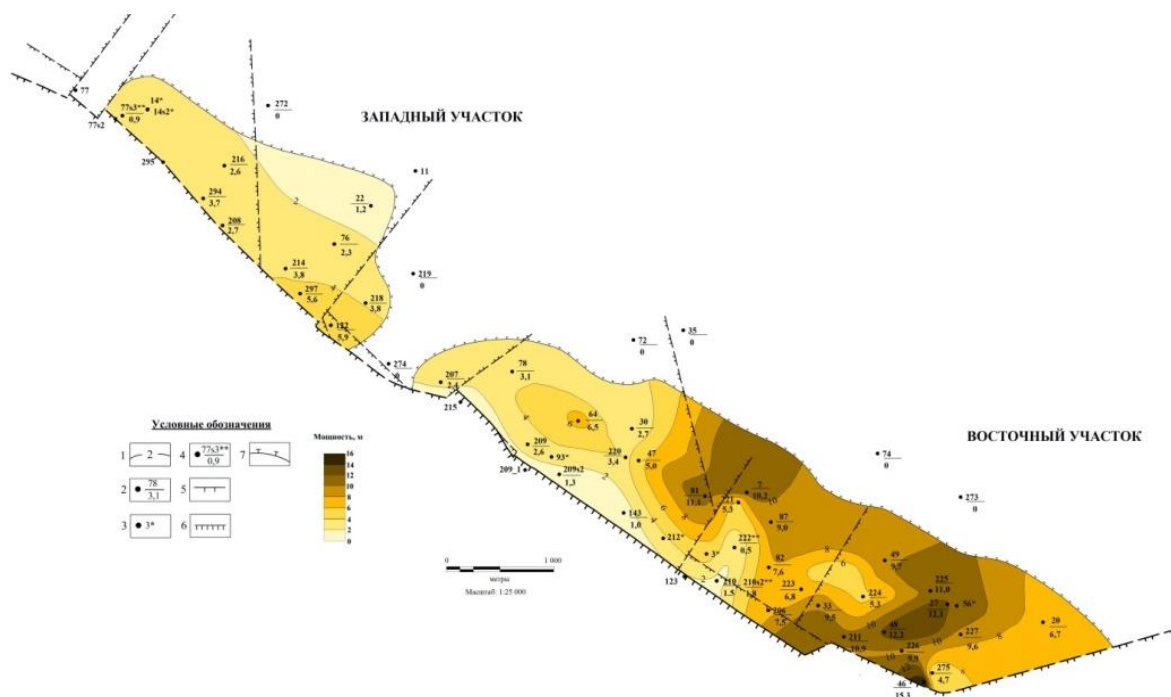


Рисунок 4 – Стреличевские слои воронежского горизонта ОНМ. Карта ЭНМ (метод II)
 Условные обозначения см. на рис. 3.

На рис. 3 показана карта эффективной нефтенасыщенной мощности (ЭНМ) стреличевских слоёв воронежского горизонта ОНМ, построенная по методу I. В результате подсчёта, запасы составили: для западного участка геологические – 174 у. е., извлекаемые – 64 у. е.; для восточного участка геологические – 860 у. е., извлекаемые – 264 у. е. (табл.). На рис. 4 показана карта ЭНМ, построенная по методу II. В результате подсчёта, запасы нефти составили: для западного участка геологические – 195 у. е., извлекаемые – 72 у. е.; для восточного участка геологические – 1 063 у. е., извлекаемые – 326 у. е. (табл.).

На рис. 5 продемонстрирована карта ЭНМ, построенная по методу III. В результате подсчёта, запасы нефти составили: для западного участка геологические – 195 у. е., извлекаемые – 72 у. е.; для восточного участка геологические – 985 у. е., извлекаемые – 302 у. е. (табл.).

Метод IV для ОНМ, реализован в данной работе следующим способом: 1) построение карт пористости и глинистости; 2) построение карты предельной пористости с учётом дискриминантной функции; 3) построение карты разности между картой пористости и картой предельной пористости и определение литологической границы распространения пород-коллекторов; 4) построение карты эффективной нефтенасыщенной мощности с учётом литологических границ распространения пород-коллекторов определённых по предельным значениям коллекторских свойств. На рис. 6 показана карта ЭНМ, построенная по методу IV. В результате подсчёта, запасы нефти составили: для западного участка геологические – 208 у. е., извлекаемые – 77 у. е.; для восточного участка геологические – 1 133 у. е., извлекаемые – 348 у. е. (табл.).

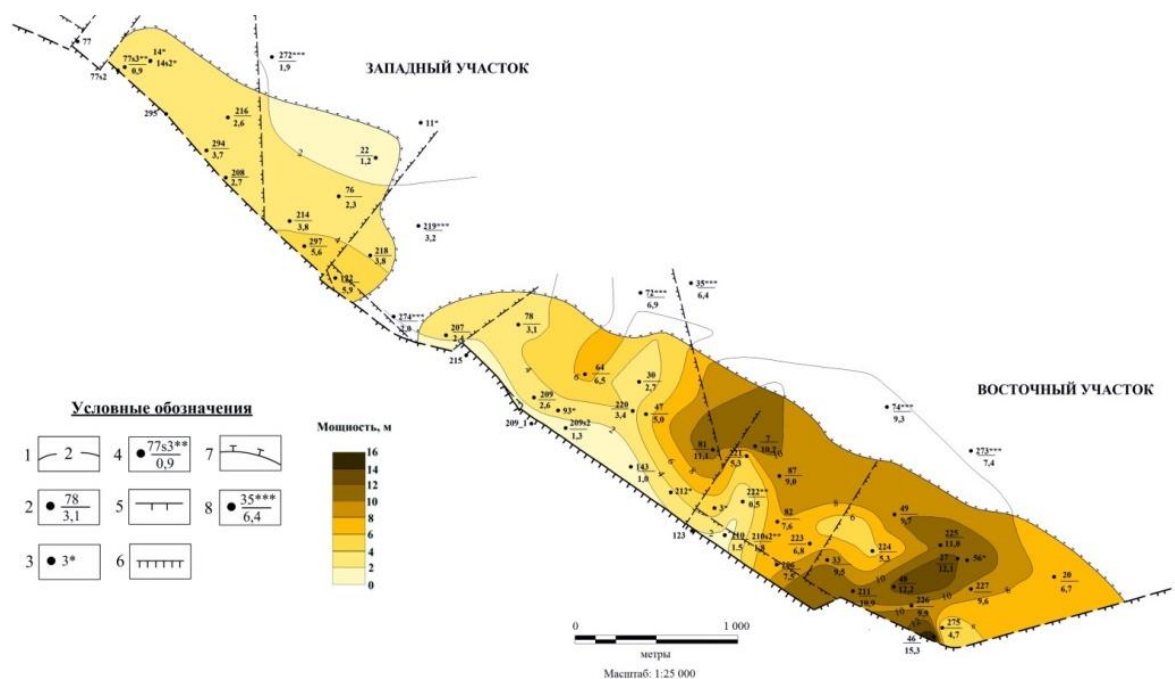


Рисунок 5 – Стреличевские слои воронежского горизонта ОНМ. Карта ЭНМ (метод III) Условные обозначения см. на рис. 3. 8 – скважины, в которых выделены пласты-аналоги коллекторов.

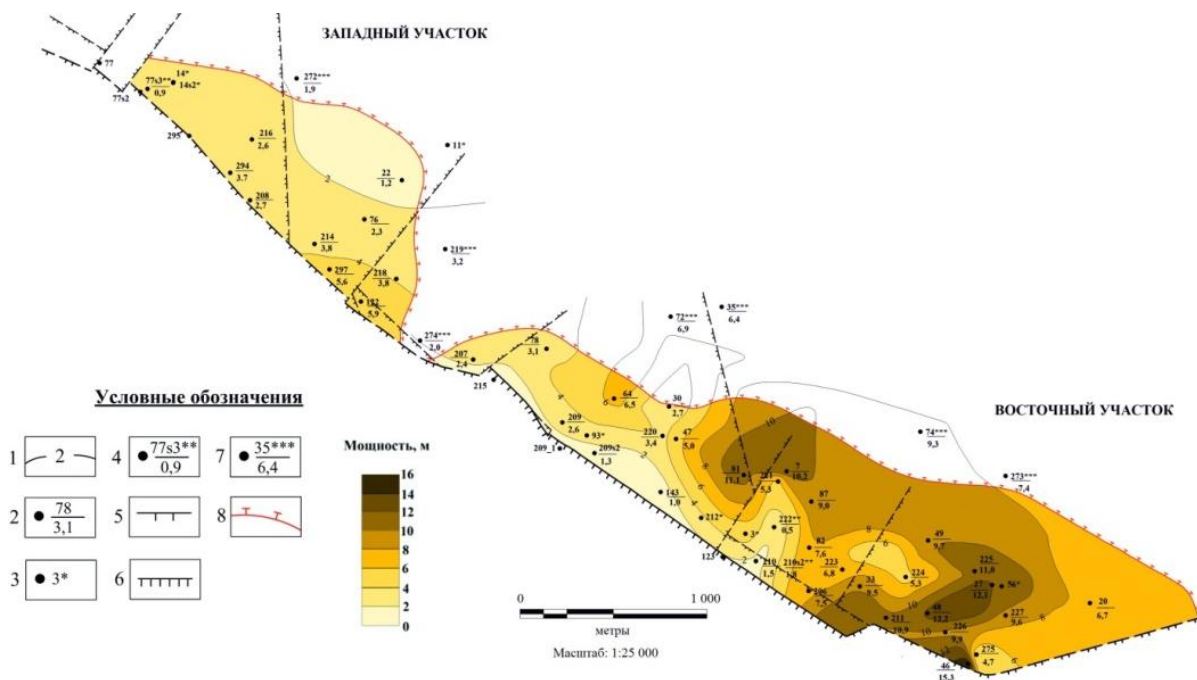


Рисунок 6 – Стреличевские слои воронежского горизонта ОИМ. Карта ЭИМ (метод IV)
Условные обозначения см. на рис. 3.

Таблица – Подсчётные параметры, запасы нефти стреличевских слоёв воронежского горизонта ОИМ

Метод	Площадь нефтеносности, тыс. м ²	Среднезвешенная нефтенасыщенная мощность, м	Объём нефтенасыщенных пород, тыс. м ³	Коэффициенты, доли ед.			Плотность нефти, г/см ³	НГЗ нефти, у.е.	Коэффициент извлечения нефти, доли ед.	НИЗ нефти, у.е.	Изменение НИЗ	
				пористости	нефтенасыщенности	пересчётный					± у. е.	±%
ОИМ												
воронежский горизонт (стреличевские слои), западный участок, категория А												
I	2 823	2,5	7 057,5	0,064	0,731	0,639	0,8254	174	0,368	64	-	-
II	2 823	2,8	7 904,4	0,064	0,731	0,639	0,8254	195	0,368	72	+8	+13
III	2 823	2,8	7 904,4	0,064	0,731	0,639	0,8254	195	0,368	72	+8	+13
IV	3 127	2,7	8 442,9	0,064	0,731	0,639	0,8254	208	0,368	77	+13	+20
воронежский горизонт (стреличевские слои), восточный участок, категория А												
I	7 742	5,5	42 581	0,052	0,736	0,639	0,8254	860	0,307	264	-	-
II	7 742	6,8	52 645,6	0,052	0,736	0,639	0,8254	1 063	0,307	326	+62	+23
III	7 742	6,3	48 774,6	0,052	0,736	0,639	0,8254	985	0,307	302	+38	+12
IV	7 742	7,1	56 104,2	0,052	0,736	0,639	0,8254	1 133	0,307	348	+84	+32

Сопоставляя полученные результаты подсчёта запасов с использованием различных методов геометризации залежей углеводородов, сделаны следующие выводы. 1. Ряд авторов [1, 6], а также авторы настоящей статьи, проведя опробование метода I (метод нелинейной интерполяции) на модельных примерах, пришли к выводу, что использование данного метода приводит к систематическому занижению нефтенасыщенного объёма пород. Вышеописанный метод применим только для залежей характеризующихся выклиниванием пород-коллекторов. 2. По мнению авторов, методы II (метод линейной интерполяции) и III рекомендуется использовать при выполнении оперативной оценки запасов углеводородов и подсчёте запасов залежей нефти с невысокой степенью разбуренности, т. к. данный метод позволяет решить поставленные задачи за короткий срок с достаточно высокой точностью. 3. Метод IV позволяет наиболее точно установить границу распространения пластов-коллекторов, а также, как и метод III, прогнозировать распространение и изменение мощности продуктивного пласта между скважинами, вскрывшими пласты-коллекторы, и скважинами, в которых пласты-коллекторы замещены более плотными и глинистыми породами, что в конечном результате отражается на точности подсчёта запасов углеводородов.

Использование данных методов при наличии большого массива геолого-промысловой информации (литолого-фациальный и сейсмофациальный анализ, высокая степень разбуривания месторождения и др.) позволит в большей степени сохранить и учесть геологические условия формирования и седиментации, закономерности площадного распространения и изменения фильтрационно-ёмкостных свойств нефтесодержащих отложений в условиях неоднородного разреза.

Методы II, III, IV применимы для залежей характеризующихся замещением пород-коллекторов плотными и глинистыми породами.

Библиографические ссылки

1. *Бадьянов В. А.* Методы компьютерного моделирования в задачах нефтепромысловой геологии. 2-е изд., доп. Тюмень, 2011. С. 121–132.
2. *Борисенко З. Г.* Методика геометризации резервуаров и залежей нефти и газа. М.: Недра, 1980. С. 101–103.
3. *Дручин В. С.* Выбор оптимальной методики геометризации прерывистых пластов // Нефть и газ. 2010. № 5. С. 35–38.
4. *Копытов А. В.* Об ошибках при подсчёте запасов нефти объёмным методом // Оценка точности определения параметров залежей нефти и газа. М.: Недра, 1965. С. 57–62.
5. *Петерсилье В. И., Порожун В. И., Яценко Г. Г.* Методические рекомендации по подсчёту геологических запасов нефти и газа объёмным методом. Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. С. 10-17–10-19.
6. *Хафизов Ф. З.* О геометризации границ распространения коллекторов // Геология нефти и газа. 1984. № 5. С. 30–34.

УДК 550.8(476)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕНОСНОСТИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА ПО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Н. И. Кондратенко

Научно-производственный центр по геологии, филиал «МНРЭГБ»,
ул. Иринская 1, 246050 Гомель, Республика Беларусь; nvkondratenko@mail.ru

Рассмотрены различные аспекты привлечения гидрогеологических и геохимических данных для повышения эффективности поисково-разведочных работ на нефть и газ.

Ключевые слова: нефтеносность; гидрогеологические и геохимические данные; Припятский прогиб.

Оценка перспектив нефтеносности базируется на детальном разборе целого ряда научных направлений геологии. При этом, большое значение для повышения эффективности поисково-разведочных работ на нефть и газ имеет более широкое привлечение данных по гидрогеологическим и геохимическим условиям нефтегазоносных бассейнов в целом и отдельных его частей.

В настоящей статье приведена гидрогеологическая и гидрогеохимическая характеристика пластовых вод Восточно-Ельской (далее ВЕП), Николаевской (НП), Восточно-Выступовичской (ВВП), Южно-Валавской (ЮВП) площадей в целях локального прогноза перспектив нефтеносности.

ВЕП. Межсолевые отложения ВЕП вскрыты и испытаны в скв. В-Ельская 1, 2 и 3.

При испытании межсолевых отложений в скв. № 3 из интервала 2 082–2 146 м $D_{3zd}(vsh)$ получен приток пластовой воды дебитом 12 м³/сут. Пластовое давление, замеренное на гл. 2 042 м, равно 22,1 МПа, градиент давления 1,077. Пласт характеризуется низкими фильтрационными свойствами и представлен мергелями доломитистыми.

При испытании песчаников из интервала 1 996–2 082 м $D_{3el}(dr)$ получен приток пластовой воды дебитом 33,6 м³/сут. Пластовое давление, замеренное на гл. 1 998 м, составляет 21,5 МПа, градиент давления 1,093.

Из интервала 1 905–1 995 м D_{3ptr} получен приток пластовой воды дебитом 65 м³/сут. Пластовое давление, замеренное на гл. 1 853 м, составляет 19,6 МПа, градиент давления 1,075. Вверх по разрезу с уменьшением стратиграфической глубины прослеживается увеличение фильтрационных свойств водовмещающих пород.

Пластовая вода (интервал 1 996–2 082 м) представлена крепкими рассолами хлоридно-кальциево-натриевого состава с минерализацией 263,8 г/л. В катионном составе вод отмечается довольно высокое содержание Ca^{2+} (14,53 % экв.), в анионном – при преобладающем содержании Cl^- – концентрация SO_4^{2-} составляет от 323,6–1 032,7 мг/л. В микрокомпонентном составе рассолов высокое содержание J – 23 мг/л, фоновое NH_4^+ – 123,6, и Br – 1 492,3 мг/л. Генетические коэффициенты Na/Cl – 0,61; Cl/Br – 109,52 указывают на седиментогенный генезис исследуемых рассолов. На высокую степень гидрогеологической закрытости и метаморфизации вод указывают коррелятивные показатели: $Na/(Br \times H)$ – 0,07, $(Cl - Na)/Mg$ – 3,95, Ca/Mg – 4,95.

По мере уменьшения стратиграфической глубины залегания межсолевых отложений в интервале 1 905–1 995 м (D_{3ptr}) пластовые воды по своему генезису относятся к смешанному типу рассолов, имеют невысокую степень метаморфизации и приурочены к гидрогеологически полураскрытой структуре, что подтверждается коррелятивными показателями: Na/Cl – 0,73; Cl/Br – 164,42; $Na/(Br \times H)$ – 0,14, $(Cl - Na)/Mg$ – 6,85, Ca/Mg – 10,30. Содержание Ra 2 160 усл. ед., что свидетельствует о том, что прогнозируемая нефтяная залежь располагается на расстоянии не более 100 м от скв. № 3 [1].

На *НП* межсолевые отложения вскрыты и испытаны в скв. № 1, № 4. В скв. № 1 при испытании песчаников задонско-елецкого горизонта интервал 2 736–2 803 м получен приток фильтрата дебитом 18,2 м³/сут, пластовое давление, замеренное на гл. 2 770 м, составило 27,3 МПа, градиент давления 0,989. В скв. 4, из интервала 2 518–2 604 м D_{3zd-el} , получен приток фильтрата с примесью пластовой воды. Водорастворённый газ углеводородного состава, преобладает N – 51,77 %, CO_2 – 38,46 %. Сумма углеводородов – 7,78 %. На *НП* по межсолевым отложениям, из-за малочисленности гидрогеологических данных и отсутствия притока пластовой воды, судить о возможных перспективах нефтеносности трудно. Однако следует отметить нефтепроявления в керне межсолевых отложений, представленном доломитами, в виде выпотов тёмно-коричневой вязкой нефти в скв. № 1 и № 2, включения битума в

скв. № 2, № 3, выпоты жидкой светло-коричневой нефти по микропорам и разгазирование глинистого раствора в процессе опробования под ЗПК наблюдалось в скв. № 3.

Вместе с тем, в отложениях верхней соленосной толщи скв. № 4 интерес представляют сульфатно-карбонатные прослои в интервале 2080–2180 м. Дебит скважины составляет 86,4 м³/сут при $P_{заб} = 25,13$ МПа. Давление пластовое – 32,83 МПа на гл. 2 087,5 м.

Повышенные газопоказания отмечены в интервале 2 170–2 275 м. Сумма углеводородов составляет 0,30 %, фон – 0,07 %.

Пластовые воды внутрисолевых отложений скв. № 4 представлены крепкими рассолами хлоридно-натриевого состава с минерализацией 325 г/л. Рассолы характеризуются своеобразным химическим составом. Наряду с очень высоким, вышефоновым содержанием NH_4^+ – 2 906 мг/л и $\text{J} = 55$ мг/л, средним $\text{Br} = 931$ мг/л, отмечается значительная концентрация SO_4^{2-} – 1 043 мг/л.

Изотопный состав растворителя соответствует водам морского генезиса и характеризуется вышефоновым содержанием $^{18}\text{O} = +1,8$ ‰ и $^2\text{H} = 26$ ‰.

Водорастворённый газ характеризуется углеводородным составом. Тяжёлые углеводороды в составе газа составляют 20,44 %. Отношение $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ составляет 3,2, что соответствует попутным газам нефтяных месторождений.

На ВВП из песчаной пачки пород боричевских слоёв, залегающей непосредственно на отложениях петриковского горизонта, в скв. № 3 из интервала 2100–2120 м получен приток тяжёлой (плотность 0,954 м³/сут) и вязкой с большим содержанием асфальтено-смолистых веществ (42,9 %) нефти дебитом 1,1–1,4 м³/сут.

Результаты химического состава пластовых вод ВВП скв. № 3 и № 11 представлены в табл. 1.

Пластовые воды представлены крепкими рассолами хлоридно-кальциевого состава с минерализацией от 304,7 до 348,0 г/л. В макрокомпонентном составе рассолов отмечается значительное содержание Ca^{2+} (25,18 % экв.) и Mg^{2+} (6,38 % экв.), низкое содержание SO_4^{2-} – 121,4–205,8 мг/л. В среднем недонасыщенность вод SO_4^{2-} составляет 86 %. Из микрокомпонентов отмечено повышенное содержание NH_4^+ – 139,5–244,8 мг/л, высокое содержание Br – до 3 076,6 мг/л, J – до 19,5 мг/л. Содержание $\text{Ra} = 2160$ усл. ед. Генетические коэффициенты $\text{Na}/\text{Cl} = 0,37–0,52$; $\text{Cl}/\text{Br} = 78,78–92,35$ указывают на седиментогенный генезис исследуемых рассолов. Изотопный состав растворителя соответствует водам морского генезиса и характеризуется вышефоновым содержанием $^{18}\text{O} = +0,9$ ‰ и $^2\text{H} = 27$ ‰. На весьма высокую степень гидрогеологической закрытости и метаморфизации вод указывают коррелятивные показатели: $\text{Na}/(\text{Br} \times \text{H}) = 0,02–0,04$; $(\text{Cl} - \text{Na})/\text{Mg} = 3,78$; $\text{Ca}/\text{Mg} = 4,96$, характеризующие обстановку, благоприятную для сохранения залежей углеводородов.

По межсолевым отложениям на ВВП следует считать высокоперспективным участок к югу от скв. № 11, здесь воды межсолевых отложений характеризуются контрастностью аномалии NH_4 (47 %), а также аномальной концентрацией водорастворённого Ra . Также высоко оцениваются по радиенасыщенности воды межсолевых отложений на ВВП (скв. № 3) (табл. 2) [1].

ЮВП. Анализ результатов опробования и испытания песчаников в скв. № 35 в интервале 3 818–3 880 м (*D_{3zd-el}*) показал, что пластовые воды представлены весьма крепкими рассолами хлоридно-кальциевого состава с минерализацией 361,1 г/л. В макрокомпонентном составе рассолов отмечается значительное содержание Ca^{2+} (31,97 % экв.) и Mg^{2+} (7,96 % экв.), фоновое содержание SO_4^{2-} от 236,7 мг/л. Содержание водорастворённого $\text{Ra} = 494$ усл. ед. [2]. Из микрокомпонентов отмечено высокое содержание аммония от 374,4 мг/л. Рассолы содержат промышленные концентрации $\text{J} = 27,9$ мг/л, $\text{Br} = 5 328,5$ мг/л, $\text{Li} = 41,8$ мг/л, $\text{K} = 5 241,9$ мг/л, $\text{Sr} = 2 961,2$ мг/л, $\text{Rb} = 6,6$ мг/л.

Таблица 1 – Химический состав пластовых вод ВВП (скв. № 3 и № 11)

№ скв.	Интервал, м	Возраст	Состав пластовой воды, мг/л						Микрокомпонент, мг/л			Относительно SMOW, %		Σ _M , г/л
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na + K	NH ₄ ⁺	Br ⁻	Γ	δD	δO18	
3	2 412–2 494	D ₃ zd-el	203 060,0	121,4	н/о	40 788,0	8 553,6	68 786,1	172,8	2 394,0	6,3	–	–	323,9
3	2 605–2 635	D ₃ zd-el	211 580,0	277,7	н/о	42 372,0	9 028,8	71 618,09	172,8	2 291,0	6,3	–	–	337,3
3	2 730–2 782	D ₃ zd-el	218 372,0	150,2	н/о	62 016,0	9 241,6	54 962,1	216,0	3 076,6	10,5	–23	0,9	348,0
3	2 870–2 940	D ₃ zd-el	209 864,0	205,8	н/о	60 120,0	9 241,6	50 235,2	244,8	2 664,0	19,5	–27	0,5	332,6
11	2 402–2 448	D ₃ zd-el	200 746,3	325,1	122,0	27 102,1	5 005,1	90 157,7	139,5	1 598,4	6,1	–20	0,5	304,7

Таблица 2 – Расстояние до прогнозируемых залежей по радиоактивности подземных вод (по данным Я. Г. Грибика)

Площадь, скв.	Интервал испытания, м	Концентрация Ra, усл. ед.	Расстояние до прогнозируемой залежи, км
Межсолевой комплекс			
ВВП, № 3	2 730–2 782	760	0,7
ВП, № 11	2 061–2 087	2 160	<0,1
ВЕП, № 3	1 905–1 995	2 160	<0,1

Генетические коэффициенты Na/Cl – 0,2, Cl/Br – 42,9 – указывают на седиментогенный генезис исследуемых рассолов. На весьма высокую степень гидрогеологической закрытости и метаморфизации вод указывают коррелятивные показатели: Na/(Br × H) – 0,005; (Cl – Na)/Mg – 5; Ca/Mg – 6,6.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы. 1. По рассмотренным площадям ВЕП, НП, ВВП, ЮВП гидрогеохимическая характеристика рассолов отражает гидрогеологически застойный режим – весьма благоприятные условия для сохранения залежи. 2. Пластовые воды елецкого горизонта ВЕП по своему химическому составу сопоставимы с водами нефтяных месторождений, на что указывают хлоридно-кальциевый состав рассолов, промышленное содержание отдельных микрокомпонентов, седиментогенный генезис рассолов, высокая степень их метаморфизации, а также коэффициент закрытости структуры 0,07. Прогнозируется выявление в межсолевых отложениях залежи нефти на расстоянии не более 100 м от скв. № 3. 3. Пластовые воды верхнесоленосного комплекса НП по своему генезису и химическому составу сопоставимы с законтурными водами Ельской структуры. НП по внутрисолевым отложениям следует отнести к числу высокоперспективных объектов для опои-

кования глубоким бурением, однако не первоочередных, т. к. положительно здесь оценивается только один комплекс. 4. Изотопный состав рассолов задонско-елецкого горизонта ВВП (скв. № 3 и № 11) соответствует диапазону морских вод. Это обстоятельство подтверждает седиментационную природу этих рассолов и свидетельствует о полной гидрогеологической закрытости отложений и благоприятных условиях для сохранения углеводородов. Межсолевые отложения ВВП (скв. № 11) характеризуются аномальными концентрациями Ra (2 160 усл. ед.), прогнозируется выявление залежи на расстоянии не более 100 м от скв. № 11. Также по радиенасыщенности перспективный участок по межсолевым отложениям располагается на расстоянии не более 700 м от скв. № 3 (Ra – 760 усл. ед.). 5. Межсолевые отложения ЮВП (скв. № 35) характеризуются двумя локальными показателями нефтеносности – вышефоновыми концентрациями NH₄ (62,8 мг/л) – дроздовские слои, и водорастворённого Ra (494 усл. ед.), что, наряду с другими данными, позволяет отнести этот объект к высокоперспективным в нефтеносном отношении.

Библиографические ссылки

1. Грибик Я. Г. Новые прогнозируемые месторождения нефти в Припятском прогибе // Инновац. развитие геол. науки – путь к эффектив. и комплекс. освоению ресурсов недр: материалы Международ. науч.-практ. конф. Минск : БелНИГРИ, 2007. С. 84–88.

2. Познякевич З. Л., Слободянюк И. А., Айзберг Р. Е., Грибик Я. Г. Оценка возможности выявления залежей нефти в межсолевом комплексе Внутреннего грабена Припятского прогиба // Проблемы освоения ресурсов нефти и газа Беларуси и пути их решения. Гомель : РУП ПО Белоруснефть, 2003. С. 108–122.

УДК: 550.834

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АVO-АНАЛИЗА НА КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ МЕЖСОЛЕВОГО КОМПЛЕКСА ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Я. А. Переволоцкая

РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» БелНИПИнефть,
ул. Книжная 156, 246003 Гомель, Республика Беларусь; Ya.Perevolockaya@beloil.by

Рассмотрено применение АVO-анализа на карбонатных коллекторах межсолевого комплекса Припятского прогиба.

Ключевые слова: АVO-анализ; карбонатные коллекторы; Припятский прогиб.

Основные нефтеперспективные залежи на территории Припятского прогиба расположены в северной части и характеризуются сложным сейсмогеологическим строением. Особенности строения определяют параметры не только проводимых на территории прогиба трёхмерных съёмки, но и дальнейших процедур, таких как применение на стадии обработки корректного графа и выработка оптимальных подходов к интерпретации сейсмических данных.

Трёхмерные сейсмические работы, направленные на изучение свойств пород коллекторов на качественном уровне, особенно в сложных условиях Припятского прогиба, в настоящее время уже обладают рядом особых преимуществ: равномерность (получение сейсмической информации осуществляется равномерно со всех азимутальных направлений), высокая кратность, регистрация информации на максимальных удалениях [3].

Использование на этапе обработки сейсмической информации графа в режиме сохранения истинных амплитуд, выполняемого с учётом сложных сейсмогеологических условий

Припятского прогиба, позволяет не только проводить структурную интерпретацию, но и изучать динамические характеристики сейсмического сигнала.

На данный момент времени особый интерес для сейсмической интерпретации представляет не только изучение структурного плана целевого горизонта, но и получение данных о коллекторских свойствах пластов. Прогноз свойств основан на комплексном изучении сейсмических и скважинных данных, поскольку сейчас качество сейсмических данных позволяет изучать литологию, прогнозировать трещиноватость и оценивать фильтрационно-ёмкостные свойства пластов, что в свою очередь обуславливает возрастание интереса к методам сейсмической инверсии, как методам, способным получать дополнительную информацию из данных сейсморазведки.

Одним из видов сейсмической инверсии является AVA-анализ или AVO-анализ, который описывает поведение амплитуды отраженной волны в зависимости от угла падения (AmplitudeVersusAngle) или в зависимости от выноса, удаления взрыв-прибор (AmplitudeVersusOffset).

Основой метода AVO-анализа является зависимость амплитуды отражения от удаления. Коэффициенты отражения лежат в основе регистрируемых сейсмических амплитуд, а они меняются вместе с углом отражения (AVA) или, что идентично углу, удалению взрыв-прибор (AVO). Наиболее фундаментальным в описании коэффициентов отражения на границе раздела двух сред является уравнение Цеппритца, которое описывает изменение зависимости сжатия и растяжения сред при пересечении волной границы раздела [4].

Исходными сейсмическими данными для AVO-анализа являются: мигрированный куб сейсмограмм в глубинной области и глубинно-скоростная модель. Мигрированные сейсмограммы переводятся из глубинной во временную область, используя глубинно-скоростную модель. Использование для AVO-анализа скалированных во временную область сейсмограмм позволяет скорректировать амплитуды за горизонтальные различия динамических эффектов – геометрическое расхождение и потери на прохождение, а также за эффекты регистрации [1].

Ранее анализ сейсмического материала, полученного на карбонатных коллекторах, основывался в большинстве своём на интерпретации суммарных кубов сейсмических данных, однако, информации по суммарному кубу обычно недостаточно для установления свойств карбонатных коллекторов. Поэтому особый интерес к проведению анализа зависимости амплитуды отражения от удаления на карбонатных коллекторах представляет детальное изучение сейсмограмм, которые в отличие от суммарных кубов обладают «физичностью», т. е. сохраняют первичную информацию об амплитудных аномалиях, которые, в частности, могут быть ассоциированы с наличием углеводородов.

Для выполнения AVO-анализа и выделения AVO-аномалий на первичном сейсмическом материале проводят специальную дообработку до суммирования и обработку с сохранением истинных амплитуд, дообработка является основой для качественного выполнения AVO-анализа.

С целью анализа выполняемой обработки в дальнейшем на стадии выполнения динамического анализа проводится оценка изменения основных контролируемых параметров, которыми являются спектр, отношение сигнал/помеха и разрешённость. Эти параметры позволяют характеризовать качество выполнения процедур обработки, а так же являются показателем кондиционности сейсмических данных для выполнения последующей динамической интерпретации.

Первым этапом выполнения AVO-анализа является оценка качества исходных данных, анализ пригодности материала и последующая его корректировка с применением процедур дообработки данных в режиме сохранения истинных амплитуд (DesignPreconditioning) пакета Probe. Целью данного этапа работ является подготовка несуммированных сейсмических данных таким образом, чтобы амплитуда была пропорциональна коэффициенту отражения. Это

означает, что все остальные эффекты распространения волн, влияющие на амплитуды, должны быть учтены в максимально возможной степени.

С целью получения сейсмограмм пригодных для проведения AVO-анализа для площадей Припятского прогиба стандартно применяются следующие процедуры дообработки: медианный фильтр, BandpassFilter, WaveletUnstretching, амплитудная балансировка, геометрическое расхождение [2].

После применения соответствующих процедур предварительной обработки данных, анализа скважинных данных, проводится инверсия AVO. В процессе выполнения процедуры несуммированные данные на основе линейаризованной аппроксимации Аки-Ричардса преобразуются в атрибуты AVO – разрезы коэффициентов отражения Р-волн, S-волн и их линейные комбинации, являющиеся мерой различных упругих параметров.

Комплекс процедур AVO-анализа, имеющийся в программном пакете Probe компании Paradigm, может быть использован для создания объёмов данных (AVO-атрибутов), позволяющих на качественном уровне оценить амплитудные аномалии и расширить возможности по прогнозированию в процессе интерпретации перспективных участков и их оконтуривании.

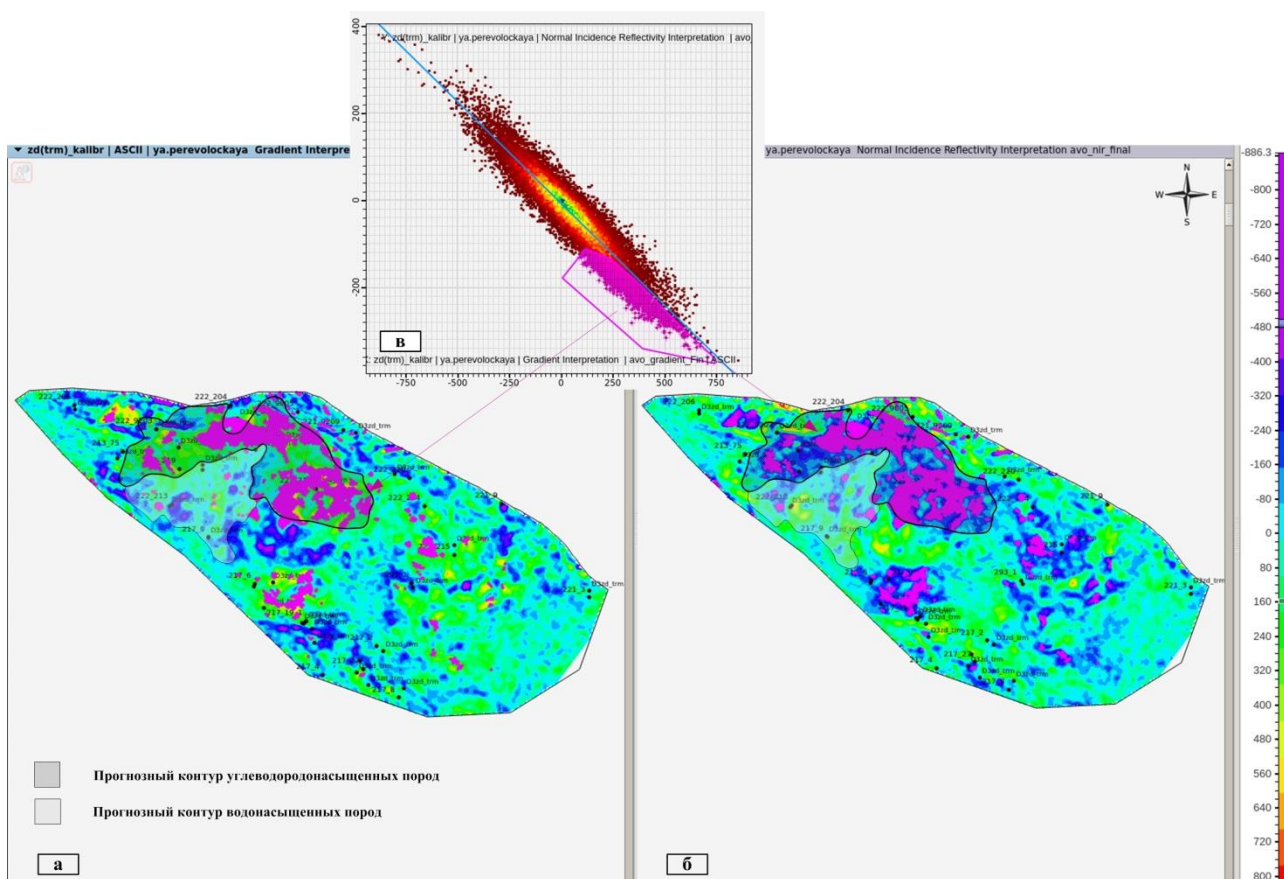


Рисунок - Результаты AVO-анализа в интервале тремлянских слоёв задонского горизонта одного из месторождений Припятского прогиба
Фрагменты карт AVO-атрибута: а - Gradient; б - NIR; в - кроссплот между картами атрибутов.

Для расчёта AVO-атрибутов задается Линия Мадрока. Аномальными, программа считает значения, не попадающие на эту линию, т. е., отличающиеся от фоновых. В ходе выполнения AVO-анализа, как правило, рассчитываются, следующие атрибуты: Normal Incidence Reflectivity, Gradient, P-wave Impedance Reflectivity, S-wave Impedance Reflectivity, Fluid Factor, Lambda*Rho Reflectivity, Mu*Rho Reflectivity. Однако, подробный анализ карт, экстрагированных по парам соответствующих атрибутов в интервалах межслоевой толщи на ряде пло-

щадей Припятского прогиба, а так же кросс-плотов между этими картами, позволяет характеризовать только атрибуты $\Lambda \cdot \rho \text{ Reflectivity}$ и $\mu \cdot \rho \text{ Reflectivity}$, Fluid Factor, а так же Normal Incidence Reflectivity, Gradient (рис.) как наиболее информативные.

Построение кросс-плотов между парами соответствующих атрибутивных карт, осуществляется с целью идентификации характера аномалий. Основной задачей при анализе кросс-плотов является выделение области, выпадающей из трендовой зависимости точек, которая предположительно локализована в зоне углеводородонасыщения или районе предполагаемого коллектора. Аномалии, выделяемые на кросс-плотах, могут быть связаны не только с пористостью, но и с другими отличными от окружающих пород свойствами, следовательно, для проведения данного анализа необходимо наличие достаточного количества скважин, которые имели бы в своём разрезе породы-коллекторы с различными свойствами или их отсутствие.

AVO-анализ, апробированный в других регионах, является качественным методом, позволяющим дополнить прогноз ФЭС по сейсмическим данным, главным образом, для терригенных коллекторов. Однако, положительный практический результат прогноза на карбонатных коллекторах позволяет рекомендовать проведение AVO-анализа как в терригенных, так и в карбонатных отложениях на площадях Припятского прогиба.

Библиографические ссылки

1. *Воскресенский Ю. Н.* Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов: учеб. пособие для вузов. М. : РГУ нефти и газа, 2001.

2. *Переволоцкая Я. А., Шкрабов А. П.* Применение AVO-анализа для оценки межсолевого комплекса Красносельского месторождения Припятского прогиба // *Літасфера*. 2017. № 1 (46) С. 129–134.

3. *Переволоцкая Я. А., Чебурахин Ю. А., Конюшенко А. С.* Алгоритм обработки сейсмического материала для проведения динамического анализа с целью изучения карбонатных коллекторов Припятского прогиба // *Літасфера*. 2018. № 1 (48). С. 30–37.

4. *Разин А. В., Меркулов В. П., Чернов С. А.* Применение геофизики при изучении месторождений нефти и газа. Томск : Центр проф. переподготовки специалистов нефтегазового дела ТПУ, 2004.

УДК 550.849

ПРОГРАММНЫЙ АНАЛИЗАТОР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО И ДОБЫВАЮЩЕГО ФОНДА СКВАЖИН

С. С. Коранчук

Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти,
ул. Книжная 15а, 246003 Гомель, Республика Беларусь; S.Koranchuk@beloil.by

На примере подсолевой залежи Вишанского, а также подсолевой и межсолевой залежей Осташковичского месторождений показаны результаты работы программного анализатора взаимодействия нагнетательного и добывающего фонда скважин.

Ключевые слова: скважины; программный анализатор.

На фоне высокого темпа развития современных технологий и роста требований к анализу разработки, гидродинамическим моделям и прогнозируемым вариантам разработки, а также большой загруженностью специалистов ручным анализом, критически важным является автоматизация процессов по сбору, хранению и обработке технологических показателей разрабатываемых нефтяных и газовых залежей. К сожалению, белорусская нефтяная отрасль пока ещё не настроена на автоматизацию процесса сбора, в связи с высокой стоимостью необходимого оборудования, однако этапы по хранению и обработки данных имеют положитель-

ный тренд развития. К примеру, с целью хранения данных и информационного обеспечения деятельности подразделений и служб предприятия разнообразной геолого-геофизической информацией создана база OraView.

Программа, представленная в данной статье, разработана в среде Visual Basic. Её функция заключается в анализе технологических показателей разработки по добывающим и нагнетательным скважинам и предоставлении исчерпывающих выводов по наличию или отсутствию гидродинамической связи между ними, а также выявление основных направлений фильтрации и поиск заколонных перетоков. В работе представлены результаты использования данного программного продукта на примере подсолевой залежи Вишанского (ВМ), подсолевой и межсолевой залежи Осташковичского (ОМ) месторождений.

На данный момент решением подобных задач занимаются в Тюменском Институте нефти и газа (ТИНГ), с помощью разработанного программного пакета «АТЛАС Управление заводнением». Данная программа предназначена для решения задач оптимизации процесса закачки воды в пласт с целью увеличения добычи нефти и снижения эксплуатационных затрат. Математические методы, применяемые в решении данных задач, относятся к разделу регрессионного анализа, началом развития которого можно считать 1943 г. и работу У. Маккалока и У. Питтса [1]. Одним из современных методов регрессионного анализа является искусственные нейронные сети. В нефтяной науке есть успешный опыт их применения, а именно: прогнозирование эффективности гидроразрыва пласта [2], интерпретация геофизических исследований [3], прогнозирование состояния системы обустройства [4]. В Республике Беларусь подобных аналогов не существует.

Описание алгоритма работы. Данные по добывающим и нагнетательным скважинам, такие как, дебит жидкости, динамический уровень, приёмистость, проведённые геолого-технические мероприятия приводятся к нормированному виду и заносятся в программу. Далее задаётся градация значений параметров, при соблюдении которых программа запоминает данное число, а также сопутствующую информацию, а именно: номер скважины и дата замера.

Пример градации увеличения дебита жидкости добывающей скважины: если дебит жидкости находится в пределах от 50 до 100 т/сут, то при увеличении его на 10 % запомнить число и сопутствующие данные; если дебит жидкости больше 100 т/сут, то при увеличении его на 5 % запомнить число и сопутствующие данные.

Пример градации увеличения приёмистости нагнетательной скважины: если приёмистость находится в пределах от 500 до 1 000 м³/сут, то при увеличении его на 10 % запомнить число и сопутствующие данные; если приёмистость больше 1 000 м³/сут, то при увеличении его на 5 % запомнить число и сопутствующие данные.

После автоматического анализа по градациям происходит дальнейшая отбраковка и использованием дополнительных условий, а именно: если при росте дебита жидкости, динамический уровень не повысился более чем на 100 м, данные не учитываются; после проведения ГТМ на добывающей скважине в последующие два месяца данные не учитываются; при увеличении приёмистости на нагнетательной скважине, отклик по добывающей наблюдается в течении 2 мес. и не более.

По результатам работы программы можно определить основные направления фильтрации воды от нагнетательных к добывающим скважинам на каждый временный шаг.

Результаты использования программного анализатора. Связь между увеличением динамического уровня и дебита жидкости в добывающих скважинах и увеличением приёмистости в нагнетательных анализируется в очень редких случаях и тем более не затрагивает весь объём данных. Поэтому для подобных задач лучше использовать автоматическую систему анализа.

На примере подсолевой залежи ВМ удалось установить направления основных фильтрационных потоков от нагнетательных скважин к добывающим. Нагнетательная скв. № 142 в

большей степени оказывает влияние на добывающие скв. № 48s2, 173, 122, 53, 5602, 140. Нагнетательная скв. № 37 оказывает большее влияние на скв. №№ 6902, 114, 128, 77, 33n2. Такой список имеется по каждой нагнетательной скважине. На рис. 1, 2 красными стрелками представлены основные направления фильтрации воды в подсолевой залежи ВМ на текущий момент времени.

На примере подсолевой залежи ОМ с помощью программного анализатора удалось установить наличие связи между нагнетательной скв. № 20, ведущей закачку в межсолевою залежь, и добывающими скважинами, работающими на подсолевой залежи воронежского горизонта. По результатам адаптации гидродинамических моделей подсолевой и межсолевой залежей ОМ удалось определить объём внедрившейся воды, который составил 1,65 млн м³. На рис. 3 синими стрелками представлено направление фильтрации воды от нагнетательной скв. № 20 к добывающим скв. № 211 и 226.

На примере межсолевой залежи ОМ при помощи программного анализатора подтверждается теория размыва соляного экрана в зоне ВНК. Данная теория основана на анализе пластовых давлений нагнетательного и добывающего фонда скважин, на рис. 4 представлен график изменения пластовых давлений.

На рис. 4: 1 – соответствует скважинам, располагающимся в приконтурной и законтурной областях; динамика пластовых давлений характеризуется наличием хорошей гидродинамической связи областей; 2 – соответствует скважинам, располагающимся внутри контура нефтеносности; 3 – обозначены замеры пластовых давлений по скважинам, которые ведут закачку в зону ухудшенной проницаемости. Как видно из рис. 4, с 1972 г. происходит рост пластового давления по внутриконтурным скважинам, что объясняется размывом соляного экрана и выноса большого количества соли. Данный факт подтверждается по результатам анализа с помощью программного комплекса, а именно до этой даты не удалось определить связь между скважинами, однако после 1972 г. количество связей между нагнетательными и добывающими скважинами резко возросло.

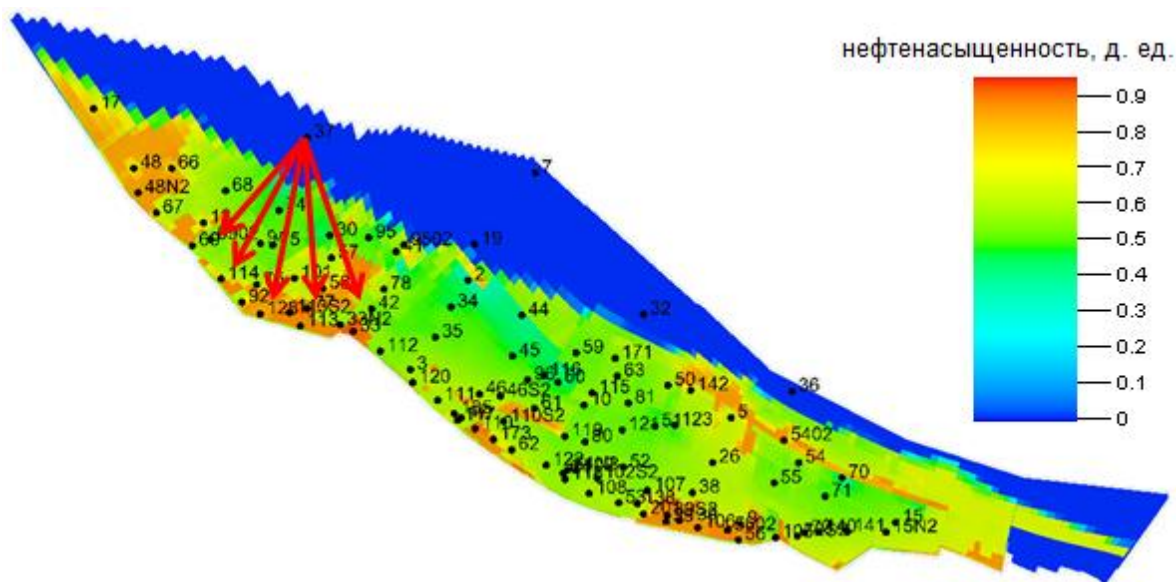


Рисунок 1 – Направление основных фильтрационных потоков от нагнетательной скв. № 37 на подсолевой залежи ВМ

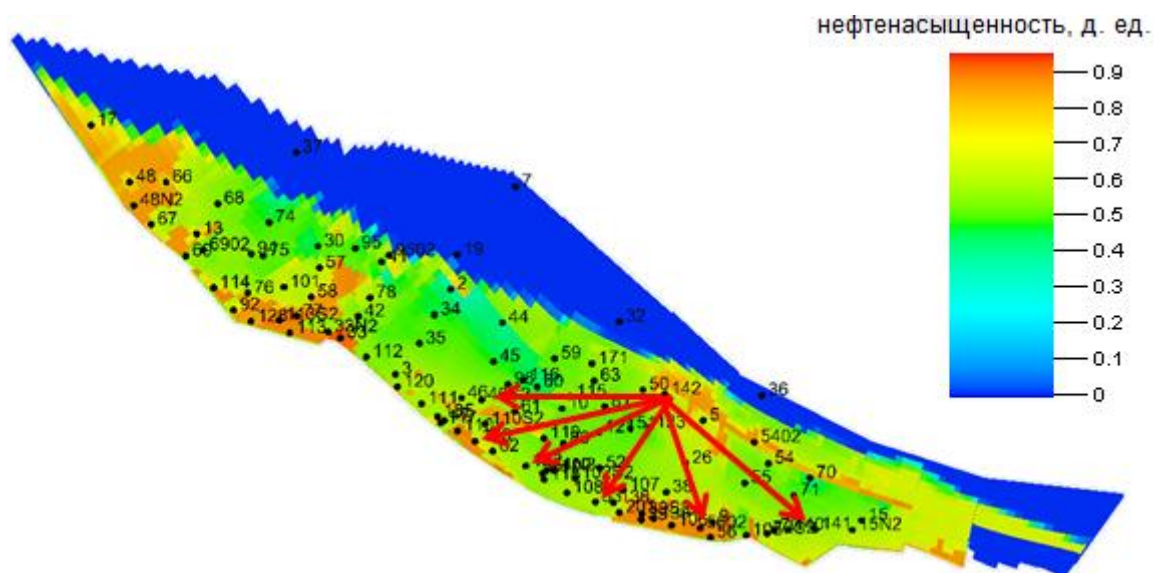


Рисунок 2 – Направление основных фильтрационных потоков от нагнетательной скв. № 142 на подсолевой залежи ВМ

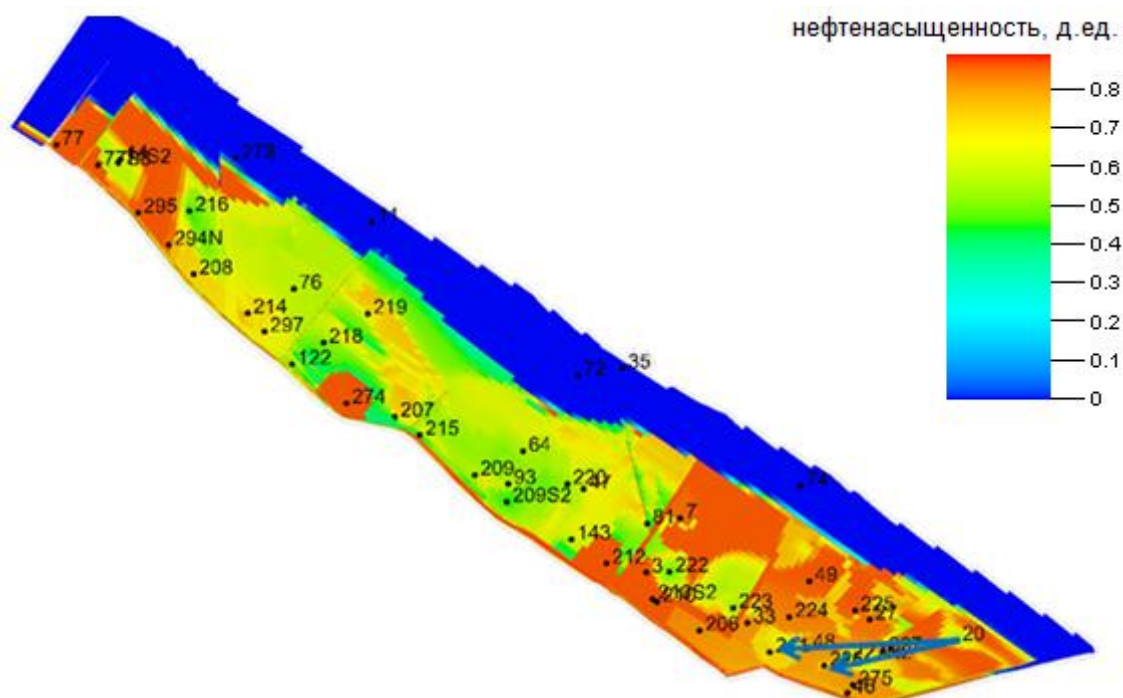


Рисунок 3 – Направление движение воды от нагнетательной скв. № 20 вследствие наличия заколонной циркуляции

Выводы. На примере подсолевой залежи ВМ, а также подсолевой и межсолевой залежей ОМ показаны результаты работы программного анализатора, разработанного в отделе моделирования резервуаров и разработки месторождений нефти и газа. С помощью данной программы можно сделать анализ огромного количества данных и получить исчерпывающие выводы о направлении фильтрационных потоков и наличии заколонных перетоков. Данная программа первая в своём роде на территории Республики Беларусь. Необходимо отметить, что решением подобных задач занимаются в Тюменском Институте нефти и газа (ТИНГ), с помощью разработанного программного пакета «АТЛАС Управление заводнением».

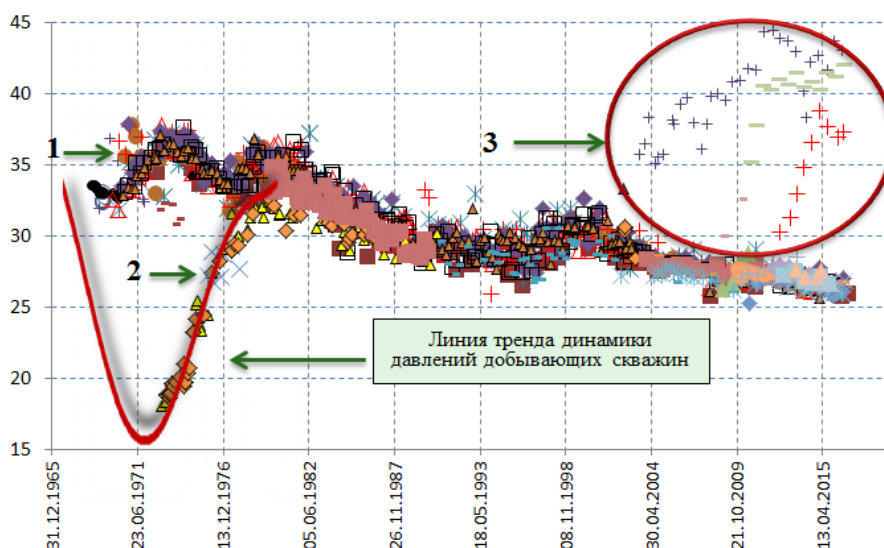


Рисунок 4 – График изменения пластовых давлений добывающего и нагнетательного фонда скважин, МПа

Библиографические ссылки

1. Мак-Каллок У. С., Питте В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности // Автоматы / Под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. М. : Изд-во иностр. лит., 1956. С. 363–384.
2. Мандрик И. Э., Гузев В. В., Сыртланов В. Р., Громов М. А., Захарян А. З. Нейроинформационные подходы к прогнозированию эффективности гидравлического разрыва пласта // Нефтяное хозяйство. 2009. № 6. С. 44–49.
3. Паклин Н. Б., Мухамадиев Р. С. Использование обучающихся алгоритмов для интерпретации данных ГИС // Бурение и нефть. 2005. № 5. С. 12–16.
4. Кононов С. В., Коровин Я. С., Ткаченко М. Г. Оперативная диагностика состояния нефтепромыслового оборудования на основе технологий интеллектуальной обработки данных // Нефтяное хозяйство. 2012. № 9. С. 116–118.

УДК 550.849(476)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ УЧАСТКА ПРИПЯТСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА СРЕДСТВАМИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ LEFA

А. А. Куксовский

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; kuksouski@bsu.by

Показаны возможности автоматизированного линеаментного анализа средствами специализированного программного обеспечения LEFA.

Ключевые слова: линеаментный анализ; Припятский нефтегазоносный бассейн; LEFA.

Линеаментный анализ – один из методов обработки данных дистанционного зондирования Земли с целью изучения глубинного строения конкретной территории. Суть метода состоит в выделении протяжённых линейных элементов – линеаментов, как прямолинейных, так и дугообразных (кольцевые структуры) в рисунке земной поверхности. Прямолинейные

объекты, как правило, характеризуются связью с дизъюнктивными нарушениями земной коры, в то время как кольцевые структуры могут представлять собой широкий ряд объектов от регионального до планетарного масштаба различного происхождения – импактного, тектонического, магматического и метаморфического.

Линеаментный анализ осуществляется на основе геоиндикационного дешифрирования, где геоиндикаторами являются, главным образом, геоморфологические и ландшафтные неоднородности, сформированные на новейшем этапе тектонического развития. Применительно к территории Беларуси такими индикаторами выступают спрямлённые фрагменты речных долин, резкие изменения направления русел и их коленообразные изгибы, выраженные в виде контрастного изменения фототона на космоснимках резкая смена растительных сообществ, линейно вытянутые системы прирусловых валов, а также приуроченные к линиям дизъюнктивов ледниковые и эоловые гряды и болота.

Если для обширных территорий, включающих горные хребты и районы повышенной сейсмической активности эффективность автоматизированного линеаментного анализа не вызывает сомнений, поскольку разрывные нарушения земной коры здесь ярко выражены в рельефе и чётко дешифрируются по космическим снимкам и данным радарной топографической съёмки, то по поводу целесообразности автоматизированного линеаментного анализа для выделения на дневной поверхности менее масштабных объектов платформенных областей, таких как региональные разрывные и пликативные структуры Припятского нефтегазонаосного бассейна, возникают вопросы. Помимо того, что здесь значительная мощность осадочного чехла, а на рельеф поверхности огромное влияние оказала ледниковая деятельность, в результате чего тектонические дислокации слабо выражены на дневной поверхности, также данная территория подверглась значительному антропогенному преобразованию, что является препятствием для автоматизированного анализа, т. к. контуры населённых пунктов, сельскохозяйственных угодий, искусственно спрямлённых и обвалованных русел могут быть ошибочно восприняты в ходе алгоритмических преобразований изображения как естественные объекты, при этом антропогенно изменённые ландшафты занимают значительную часть участка.

Целью данной работы стала проверка эффективности автоматизированного линеаментного анализа для участка Припятского нефтегазонаосного бассейна (далее НГБ) в районе оз. Червоное и сравнение полученного результата с данными геофизической съёмки для региона. В качестве программного обеспечения (далее ПО) для проведения анализа было выбрано специализированное ПО с открытым исходным кодом, выполняемое в среде Matlab – LEFA (Lineament Extraction and Fracture Analysis) [1], для сравнения и сопоставления результатов обработки использовалась свободная геоинформационная система QGIS 3.12. ПО LEFA позволяет работать с одноканальными снимками Landsat 5-8 и данными SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), также поддерживает работу с изображениями без геопривязки. Для распознавания линеаментов на изображении требуется произвести ряд операций. Т. к. программа работает только с одноканальными растрами, то в качестве основы были выбраны снимок Landsat 8 в ближнем ИК-спектре, на котором чётко видны контура водных объектов, а также почвенные и растительные разности, и данные SRTM для изучаемого участка, результаты анализа которых будут затем сопоставлены.

Перед тем как произвести поиск линейных элементов на изображении, требуется настроить его контрастность и произвести поиск границ. Для определения границ LEFA предлагает ряд алгоритмов, в данной работе был использован детектор Кэнни [2]. Результат обработки представлен на рис. 1. Видно, что все резкие переходы интенсивности цвета воспринимаются как границы и детектируются очень чётко. При этом большое количество прямых линий сформировано контурами сельскохозяйственных угодий, и при дальнейшей обработке стоит задача не включать их в линеаментный анализ.

Следующий этап – поиск линейных элементов на изображении. Для этой задачи в LEFA используется преобразование Хафа [3] с возможностью задания параметров детектируемых объектов, таких как длина линий в пикселях, допуск разрыва линии, дискретизация значений координат Хафа и некоторых других. В результате работы алгоритма выделяется большое число линейных объектов разной длины, отвечающих заданным параметрам (рис. 2). Важно понимать, что большая часть этих объектов не представляет никакого интереса для изучения, т. к. являются отдельными, никак не связанными между собой элементами.

Для того, чтобы выделить объекты, которые прослеживаются на большом расстоянии, LEFA предоставляет опцию объединения коллинеарных элементов. При этом также есть возможность указать нужные переменные для достижения корректного результата: количество сегментов, минимальную длину сегмента, параметры коллинеарности. Важно подобрать такие параметры, при которых линейные объекты антропогенного происхождения не будут включены в объединённые линеаменты.

Результат детектирования линеаментов на изучаемой площади, а также сопоставление полученных результатов со структурными картами подсолевого и межсолевого комплексов Припятского НГБ представлены на рис. 3, 4.

Изучив полученные результаты, можно обнаружить, что некоторые детектированные ПО линеаменты во многом совпадают с линиями выявленных в ходе геофизических исследований разломов подсолевого и межсолевого комплекса либо на всем их протяжении, либо на отдельных участках. Данный факт может указывать на новейшую активизацию данных разломов, в результате которой разломные зоны испытывали вертикальные и горизонтальные перемещения и нашли отражения в современном рельефе. Однако нельзя исключать и вероятность случайного детектирования линеаментов на основе индикаторов, происхождение которых не связано с тектонической активностью. В пользу этого также свидетельствует тот факт, что большая часть выделенных линеаментов все-таки не находит подтверждения на структурных картах.

Наряду со снимком Landsat 8 аналогичным образом были проанализированы свободно распространяемые данные топографической радарной съёмки SRTM разрешением 30 м для изучаемого участка, представленные в виде 16-битного растрового изображения, значение каждого пикселя которого численно равно высоте местности над поверхностью геоида EGM96 в метрах. Точность модели соответствует топографической карте масштаба 1 : 100 000 [4]. Результат анализа участка на основе данных SRTM и сопоставление их со структурными картами региона представлены на рис. 5–6.

В результате обработки радарных данных число детектированных протяжённых линеаментов оказалось гораздо ниже, чем при обработке космоснимка – выделено всего три протяжённых элемента, вектор двух из которых на некоторых участках схож с ориентировкой разломных деформаций земной коры, при этом между собой линеаменты космоснимка и раstra SRTM не совпадают. Т. к. растр SRTM визуализирует неоднородности высот рельефа, то можно предположить, что на исследуемом участке тектонические нарушения выражены не столько в вертикальных колебаниях рельефа (либо различия при текущем разрешении 30 м настолько малы, что не определяются ПО как неоднородности), сколько в особенностях его строения, дешифрирующихся по изменению фототона на космоснимке, чем объясняется большее количество линеаментов, выделенных при анализе КС Landsat.

Таким образом, по результатам автоматизированного линеаментного анализа участка некоторые разломные элементы подсолевого и межсолевого комплексов рассматриваемого в работе участка Припятского НГБ предположительно имеют проявление на дневной поверхности в виде линеаментов, выражающихся на ДДЗ преимущественно в виде резкого изменения фототона, при анализе данных радарной съёмки протяжённые линейные элементы на исследуемом участке детектируются слабо. Выявленные линеаменты, пространственно совпадающие с разломами подсолевого и межсолевого комплексов Припятского НГБ могут быть

следствием активизации этих разломов на новейшем этапе развития района. Однако бóльшая часть детектированных линий не коррелирует с установленным геофизическими методами глубинным строением территории. Связать это можно как с особенностями работы алгоритмов ПО и ошибочным выделением линейных объектов, так и с природой некоторых линейаментов, которая может быть отличной от тектоно-геодинамической. Сделать однозначный вывод об эффективности автоматизированного линейаментного анализа для локальных и региональных структур платформенных территорий можно только после предметного изучения геодинамической обстановки территории, построения геологических и геоморфологических профилей, карт аномалий геофизических полей и их сопоставления. Линейаментный анализ не может являться самостоятельным методом изучения, но результаты анализа являются хорошей основой для выделения объектов, которые в дальнейшем будут подвергнуты углублённому исследованию.

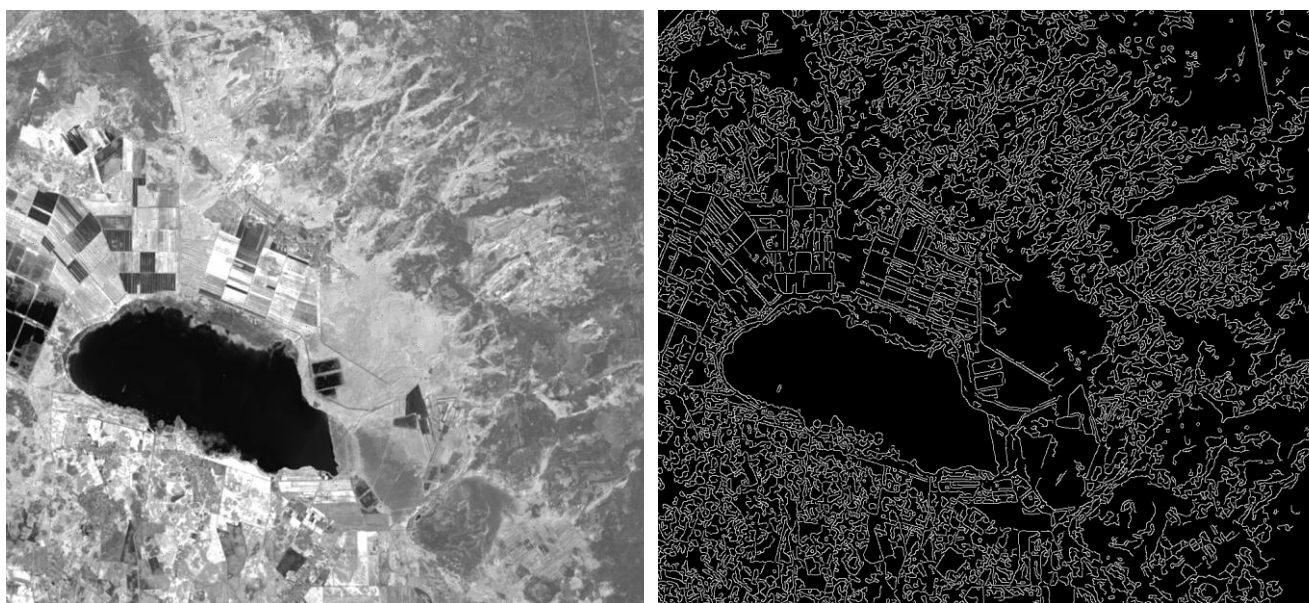


Рисунок 1 – Фрагмент исходного космоснимка Landsat 8 для изучаемого региона (слева) и результат его обработки детектором границ Кэнни (справа)

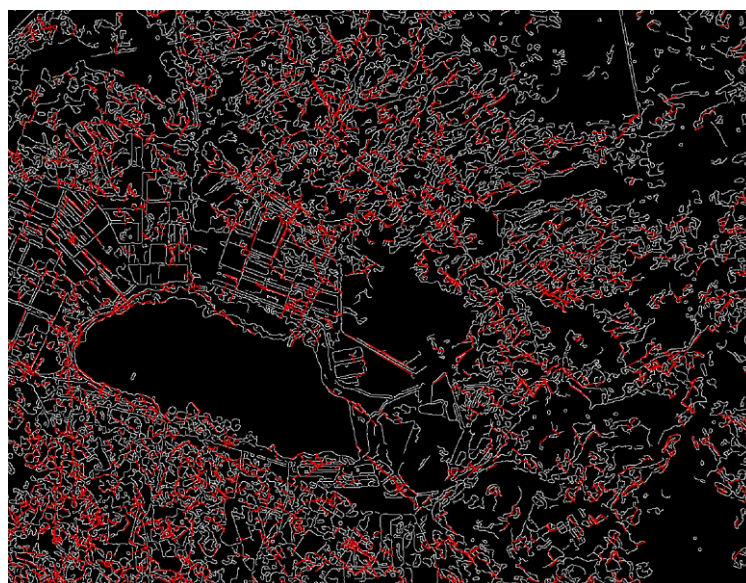


Рисунок 2 – Результат детектирования линейных объектов преобразованием Хафа

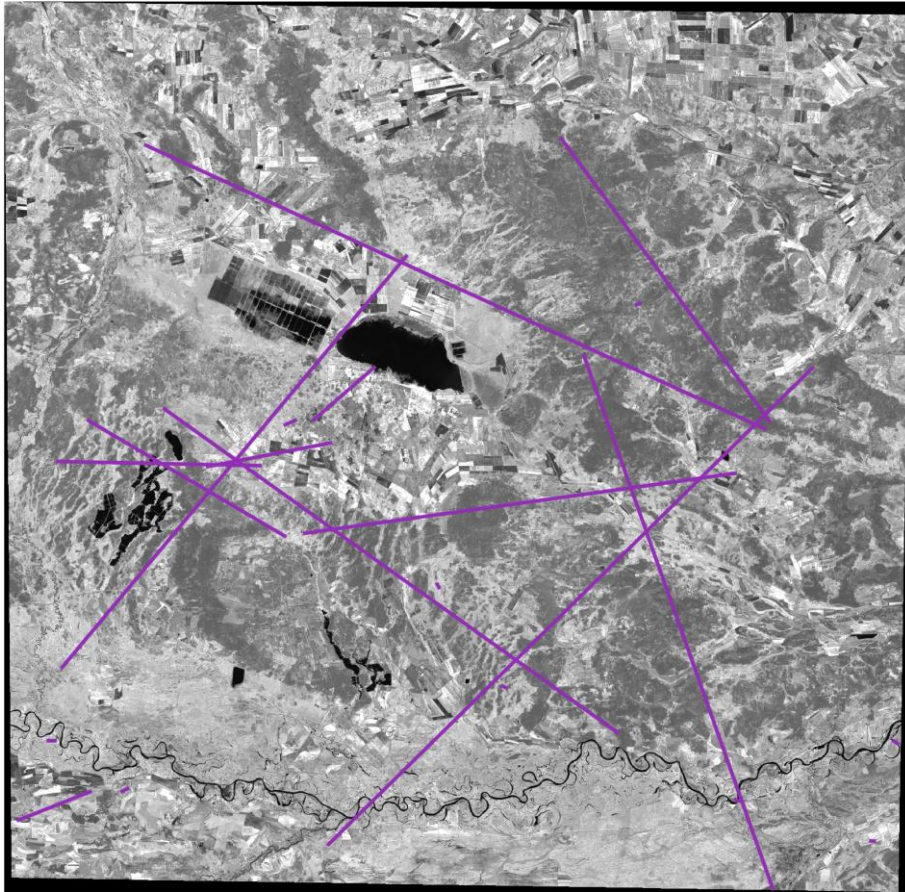


Рисунок 3 – Результат автоматизированного линеаментного анализа КС участка Припятского НГБ
 Линеаменты – линии фиолетового цвета, подложка – снимок Landsat 8, использовавшийся для анализа

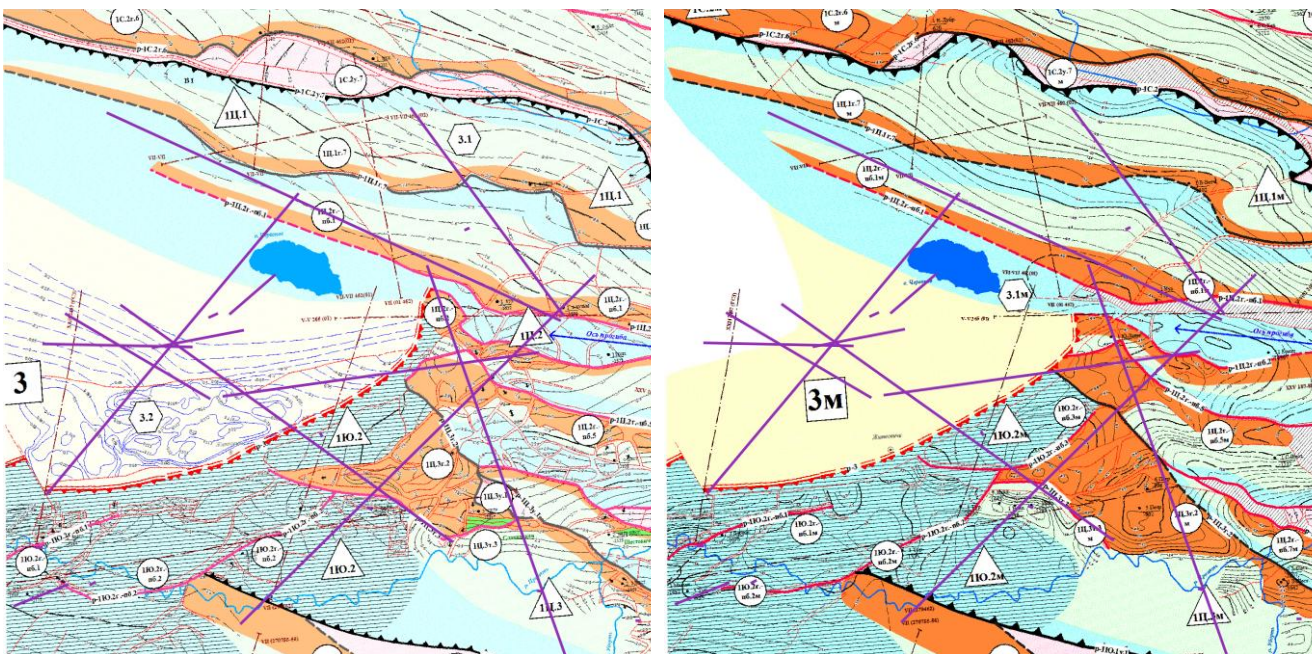


Рисунок 4 – Фрагмент структурной карты подсолевого (слева) и межсолевого (справа) комплекса
 Припятского НГБ с нанесёнными линеаментами (линии фиолетового цвета),
 выделенными на основе КС Landsat 8

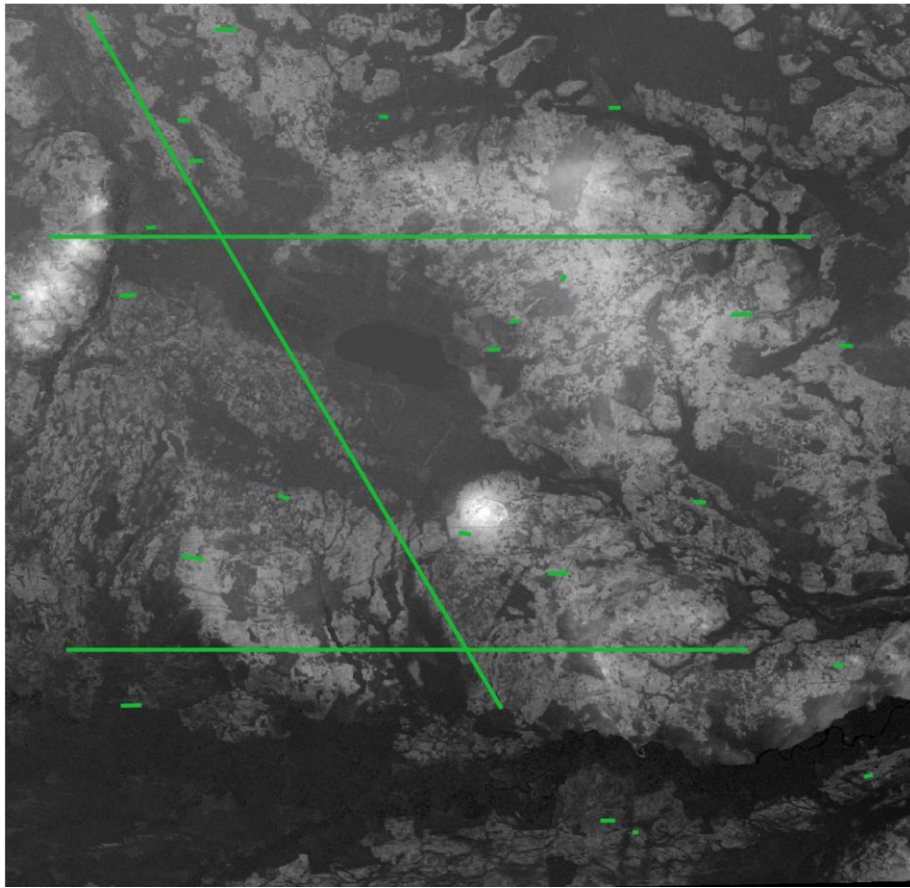


Рисунок 5 – Результат автоматизированного линейного анализа на основе данных SRTM
 Линеаменты – линии зелёного цвета, подложка – матрица SRTM разрешением 30 м

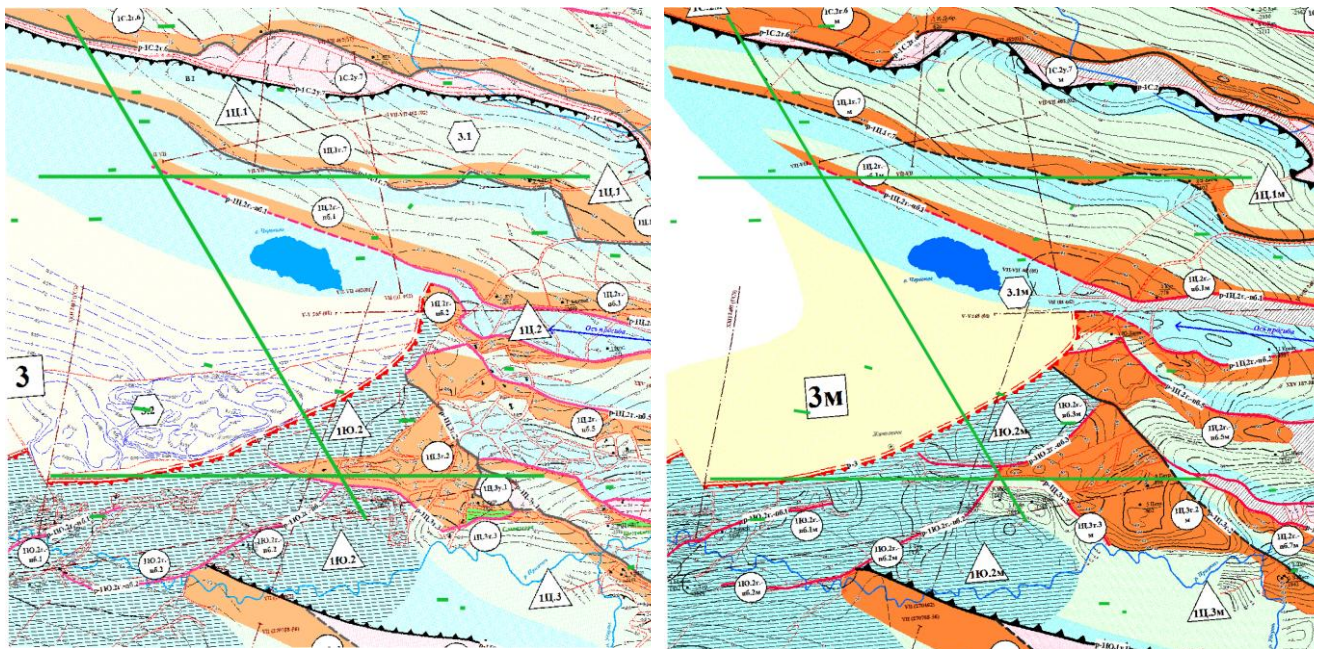


Рисунок 6 – Фрагмент структурной карты подсолевого (слева) и межсолевого (справа) комплекса Припятского НГБ с нанесёнными линеаментами (линии фиолетового цвета), выделенными на основе данных SRTM

Библиографические ссылки

1. Шевырёв С. Л. Программа LEFA: автоматизированный структурный анализ космической основы в среде Matlab // Успехи современ. естествознания. 2018. № 10. С. 138–143.
2. Canny J. A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Trans // Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8 (ISS 6). P. 679–698.
3. Duda R. O., Hart P. E. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures // Comm. ACM. 1972. Vol. 15. P. 11–15.
4. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы высот SRTM // Геопрофи. 2010. № 1. С. 48–51.

УДК: 552.08

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ШЛИФАХ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ПЕТРОГРАФИИ

Е. А. Василёнок

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; manul1994@mail.ru

Рассматривается новый метод определения рудных минералов в образцах горных пород, основанный на анализе микроизображений шлифов.

Ключевые слова: цифровая петрография; определение рудных минералов; микроизображения; шлифы.

Введение. Классифицировать минералы можно как по макроизображениям штуфов горных пород [1, 2], так и по микроизображениям шлифов горных пород. Шлифы горных пород бывают 2 видов (табл. 1) – стандартные и нестандартные. Средне- и крупнозернистые фанеритовые структуры имеют размеры зёрен более 1 мм, а часто более 1 см. Использование стандартных шлифов для оценки текстурно-структурных характеристик таких пород невозможно. В этих случаях используются нестандартные шлифы, размеры которых зависят от цели исследования.

Таблица 1 – Виды шлифов

Вид шлифа	Организация	Размер предметного стекла, мм	Размер покровного стекла, мм
Стандартный	БГУ	20 × 40	18 × 18
	НПЦ по геологии	27 × 48	24 × 24
Нестандартный	БГУ	50 × 74	24 × 50 (55)
	НПЦ по геологии	59 × 89	

Достоинства микрофотографий над макрофотографиями образцов горных пород следующие: высокое разрешение и, следовательно, максимальная детализация и точность при анализе; возможность съёмки в различных режимах исследуемого участка (с анализатором, без анализатора и т. д.); определение второстепенных и даже акцессорных минералов в образце породы; определение трещиноватости и более точных качественных и количественных характеристик образцов пород [3].

Методический подход. Рассмотрим анализ микрофотографий на примере. Из метаморфических пород отобран из скв. № 515 с гл. 533 м образец плагиогнейса № 515-3. (рис. 1). Порода относится к амфиболит-плагиогнейсовой графитсодержащей формации Пуховщинского участка.

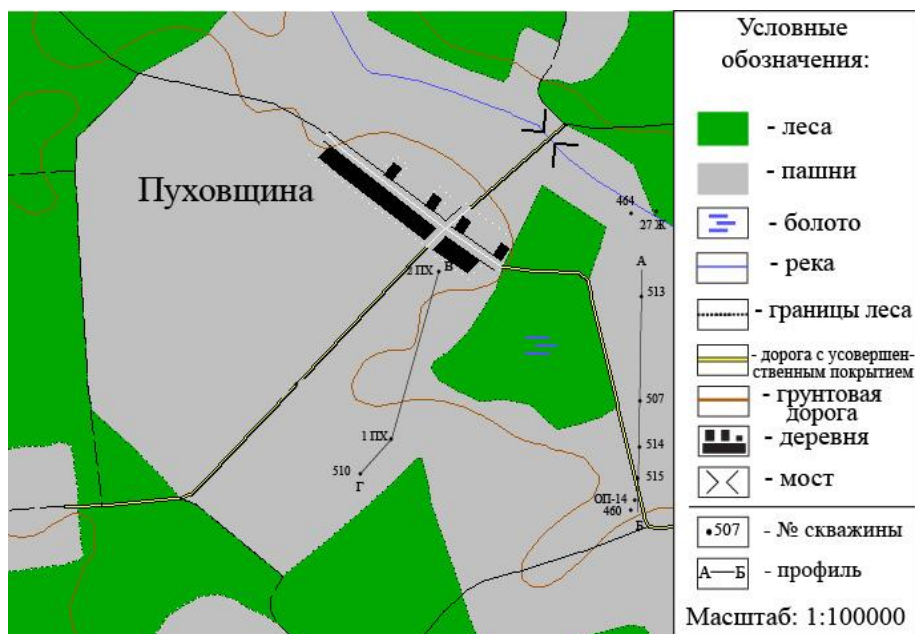


Рисунок 1 – Схема размещения скважин Пуховщинского участка

Минеральный состав: плагиоклаз (Pl) [20–164 μm] – 5 %; кварц (Q) [22–431 μm] – 50 %; калиевые полевые шпаты (Mc) [58–263 μm] – 15 %; биотит (Bi) [33–535 μm] – 28 %; рудные минералы (Rudn) [26–174 μm] – 2 %. Текстура: гнейсовидная. Структура: лепидогранобластовая (рис. 2).

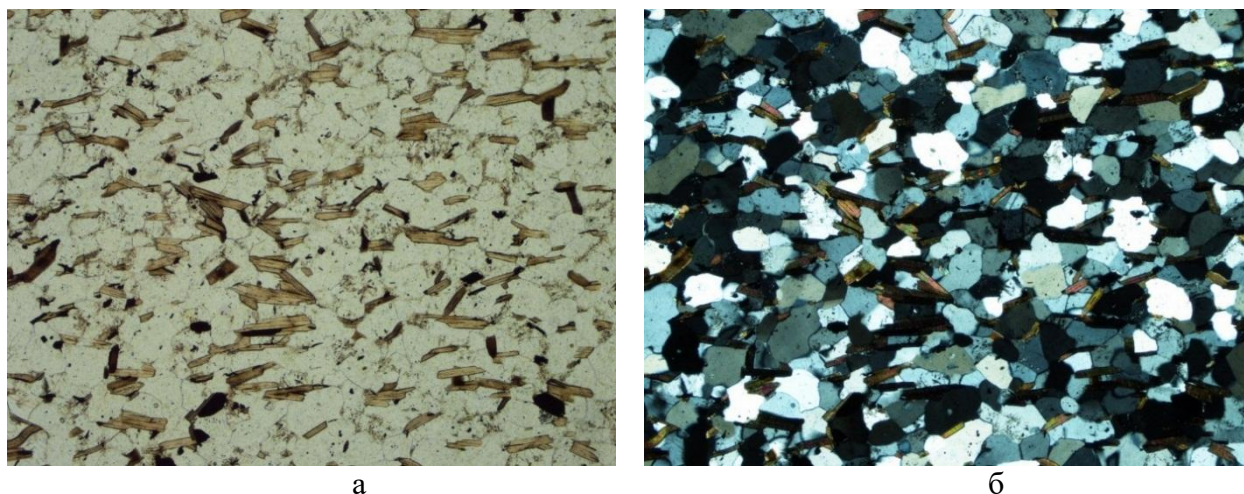


Рисунок 2 – Микрофотографии шлифа обр. № 515-3. Общий вид $\times 4$: а – без анализатора, б – с анализатором

Методика цифрового анализа образца будет отличаться для микрофотографий, снятых с анализатором и без. Приведём пример для изображения плагиогнейса в простом поляризованном проходящем свете: с помощью Neural Net Classification (NNC) определить 3 класса: силикатные минералы (Salic), биотит (Bi) и рудные минералы (Rudn); создать маски каждого класса минералов; произвести бинаризацию масок; применить алгоритм Watershed; определить занимаемые площади (Area).

Стандартный алгоритм обратного распространения был использован для нейронной сети (NNC) при исследовании исходного изображения образца гранита без фильтров.

Алгоритм обратного распространения – это итеративный градиентный алгоритм, который используется с целью минимизации среднеквадратичного отклонения (StdDev) текущего выхода персептрона и желаемого выхода. Нейроны делятся на группы с общим входным сигналом – слои. На каждый нейрон первого слоя (скрытого слоя – Hidden Layer) подаются все элементы внешнего входного сигнала. Все выходы нейронов n-ого слоя подаются на каждый нейрон слоя n + 1. Нейроны выполняют взвешенное суммирование элементов входных сигналов. К сумме элементов входных сигналов, помноженных на соответствующие веса, прибавляется смещение нейрона. Над результатом суммирования выполняется нелинейное преобразование – функция активации. Значение функции активации и есть выход нейрона.

В качестве этой функции использовалась сигмоидальная функция (1):

$$f(x) = x / (x + \alpha) \quad (1),$$

где α – это параметр, влияющий на наклон сигмоидальной функции активации.

Для описания отдельного нейрона в нейронной сети была применена формальная модель Мак-Каллока-Питтса.

Классификация выполняется с помощью обучения нейронной сети (training iteration) на базе созданных областей интереса (ROI – region of interest). Данная нейронная сеть требует число итераций от 100 до 10 000, прежде чем веса связей нейронов стабилизируются достаточно, чтобы получить выходные данные. В нашем случае произведено 100 итераций (рис. 3).

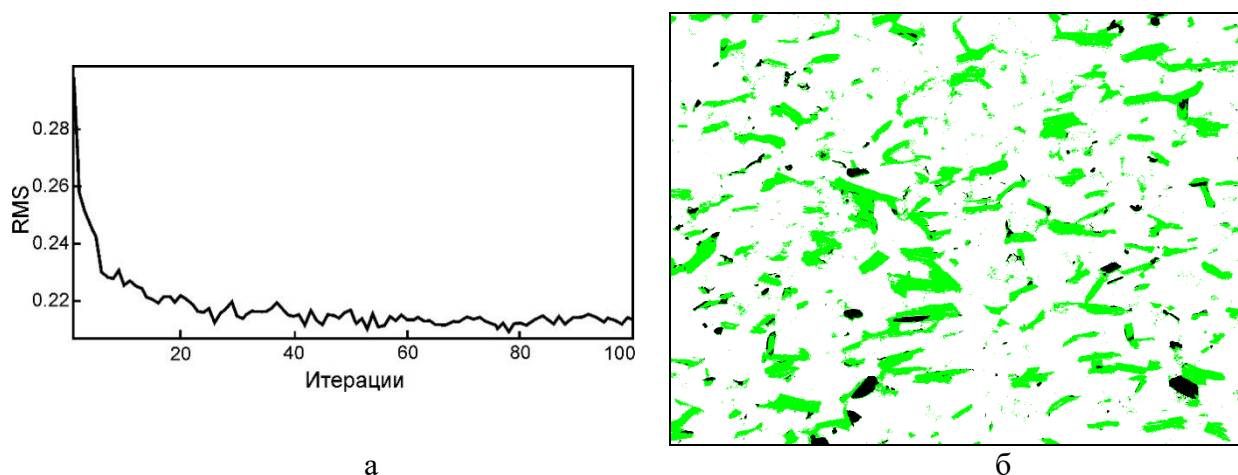


Рисунок 3 – Применение метода NNC к изображению плагиогнейса

а – график зависимости среднеквадратичной ошибки (RMS) от числа итераций; б – выходные данные.

Таблица 2 – Результаты определения минералов образца плагиогнейса методом NNC

Класс	Количество зёрен, шт	Площадь, μm^2	Площадь, %
Salic	6 510	4 090 524	83,221
Bi	652	744 580	15,149
Rudn	1 072	80 096	1,630

Результаты и выводы. Результаты NNC выделения классов и определения площади, занимаемой каждым из них, отображены в табл. 2. Методом цифровой петрографии было определено, что содержание рудных компонентов в образце равно 1,630 %. В то время как при описании шлифа, было установлено значение равное 2 %.

Таким образом, с помощью метода цифровой петрографии содержание рудных минералов в шлифах горных пород возможно определять с высокой точностью.

Библиографические ссылки

1. *Василёнок Е. А.* Классификация минеральных компонентов гранитоидов методами цифровой петрографии и машинного обучения // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2020. № 1. С. 75–85.
2. *Василёнок Е. А., Самодуров В. П.* Количественный анализ цифровых изображений горных пород // Современ. проблемы геохимии, геологии и поисков полез. ископаемых : материалы Международ. науч. конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. К. И. Лукашёва (1907–1987), 23–25 мая 2017 г. : в 2 ч. / Отв. ред. О. В. Лукашёв. Минск : Право и экономика, 2017. Ч. 2. С. 4–6.
3. *Василёнок Е. А.* Структурно-текстурные особенности магматических и метаморфических пород по данным цифровой петрографии // Магистерская работа, БГУ, географ. фак., каф. динам. геологии; науч. рук. В. П. Самодуров. Минск, 2017.

УДК: 550.36(476)

ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

В. И. Зуй

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; zui@bsu.by

Рассмотрены результаты геотермических исследований на территории Минской области Беларуси.

Ключевые слова: геотермические исследования; Минская область.

Расположение скважин, изученных в геотермическом отношении, на территории Минской обл. весьма неравномерно, а их глубина в зависимости от назначения варьирует в широких пределах, от 50 (для водоснабжения) на Белорусской антеклизе до 1 000–2 000 м в Припятском прогибе. В регионе за пределами Припятского прогиба основная часть термограмм получена в скважинах, находившихся достаточное время в покое после завершения бурения. Часть термограмм, зарегистрированных производственными организациями в ходе термокаротажа скважин Припятского прогиба, имеют низкое качество. Они требовали тщательного отбора и корректировки перед их использованием чтобы избежать на составляемых картах не существующих в природных условиях «аномалий». После отбора термограммы скважин были включены в базу для последующего составления геотермических карт. Её фрагмент и вид представлены на рис. 1. В столбцах таблицы указаны кроме названия скважины и её номер, координаты, глубина до забоя, глубина, достигнутая термометром, глубина положения нейтрального слоя и зарегистрированная температура на этой глубине и другие данные. В зависимости от назначения создаваемой карты, могут вводиться колонки с температурой на гл. 100, 200 м, геотермический градиент, либо тепловой поток, а также расчётная плотность извлекаемых геотермальных ресурсов и т. п.

Распределение изученных скважин по территории Минской обл. и смежным участкам прилегающих Брестской, Гродненской, Витебской, Могилевской и Гомельской обл. приведено на рис. 2. Скважины Белорусской антеклизы, как правило, имели доступную для измерений глубину менее 500 м (в подавляющем большинстве случаев – от 100 до 250 м). Соотношение общей глубины каждой из изученных скважин и глубины, достигнутой электротермометром, показана в условно соотношении серого и светло-коричневого цветов (измеренная часть скважины). Немногие глубокие скважины до 2 км изучены в северной зоне Припятского прогиба, небольшая часть которого заходит на территорию Минской обл., в частности например – в окрестности г. Солигорск.

FID	Shape	Код	x	y	name	z	z_termogr	z_nevtr	t_nevtr	t_mel
364	Точка	419	28,46767	52,29383	Bazhenovskaya4R	4040	4040	0	0	0
420	Точка	479	29,31467	52,4355	Severo-Pritokskaya21	4000	4000	0	0	0
578	Точка	459	28,4735	52,63583	Severo-Kalinovskaya1	3600	3600	0	0	0
318	Точка	372	28,89817	52,68483	Malynskaya3	3245	3245	0	0	0
352	Точка	407	29,06983	52,33867	Savichskaya1R	3170	3170	0	0	0
29	Точка	30	29,3065	52,77783	Prokhorovskaya10	3000	3000	0	0	0
60	Точка	61	29,17067	52,596	Vishanskaya26	2962	2730	0	0	0
28	Точка	29	29,3185	52,43467	Kazanskaya21	2672	2672	0	0	0
81	Точка	82	29,34817	52,58333	Marmovich99	2300	2300	0	0	0
577	Точка	457	27,89883	52,6485	Novo-Dubrovskaya1	2300	2300	0	0	23,07
353	Точка	408	29,21467	52,2795	Savichskaya3R	2434	2281	10	7,26	0
367	Точка	422	27,88817	52,12317	Turovskaya3	2615	2138	0	0	0
575	Точка	367	27,53533	52,852	Soligorskaya1R	2030	2030	0	0	0
366	Точка	421	27,8575	51,91483	Turovskaya2	2615	1748	25	8,56	0
314	Точка	368	28,72017	52,78267	Glusskaya1	2097	1720	0	0	0
354	Точка	409	29,053	52,34583	Savichskaya5R	873	873	0	0	0
630	Точка	0	0	0	Viktorovka33	785	775,711	0	0	0
626	Точка	0	0	0	Grod33	795	770	75	7,45	0
552	Точка	188	26,72333	53,5	Stolbtsy07	760	758	55	8	0
551	Точка	187	26,7935	53,51317	Stolbtsy11	740	736	80,2	8,28	0
559	Точка	196	26,748	53,628	Shashki239_(Triles)	700	700	20	6,52	8,03
481	Точка	563	29,2895	53,17083	Bobruisk691	695	695	15	7,421	0
550	Точка	186	26,91167	53,69917	Stolbtsy490	911	679,9	35	6,377886	0
549	Точка	185	26,9115	53,6955	Stolbtsy516	691	671	40	6,377886	0
482	Точка	564	28,80217	53,1325	Bobruisk726	645	645	10	7,411	0
553	Точка	190	26,98433	53,495	Pukhovshchina27zh	657,5	640	40	7,389722	0
627	Точка	0	0	0	Cherven3	715	620	40	8,4	0
377	Точка	432	29,0843	52,07617	Mozyrskaya3K	600	600	75	8,5	0
628	Точка	0	28,505011	53,454228	Osipov3(osovo)	706	565	80	7,661	0
574	Точка	297	28,18133	52,88583	Rassvet2	555	555	15	7,76	0
567	Точка	225	26,79233	54,90567	Naroch101PS (X-1993g.)	543	543	24,1	7,464	0
556	Точка	193	26,99767	53,49267	Pukhovshchina_Mn513	538	538	30	6,789155	0
525	Точка	136	26,5797	53,67167	KrugovinyOP2	525	525	25	7,306938	8,17
560	Точка	197	26,692	53,61967	Shashki306	538	522	30	7,29	8,28
95	Точка	96	28,87383	53,07567	Glusha2	495	495	40	7,735695	0
569	Точка	240	27,78333	54,424	PleshchenitsyLG1	479,2	445	20	7,231067	0
530	Точка	144	26,6915	53,22633	Nesvzh12R	450	442	60	7,83	0
565	Точка	223	26,712	54,91583	Belaya Rus	542	430,5	30,5	7,307996	0
568	Точка	226	26,687	54,90283	Stroitel (Sanatorii)	430	430	40,1	7,48	0
539	Точка	160	27,42983	53,95867	Krynitsa1/69	473	418,7	75	7,33	0
570	Точка	241	27,78333	54,424	Pleshchenitsy	479,2	414	20	7,360989	0
554	Точка	191	27	53,49633	Pukhovshchina49P	412	412	30	6,74	0
572	Точка	294	26,40367	52,78783	Gantsevich11g	412	412	50	8,76	0
538	Точка	159	27,61017	53,919	MinskVSK1	420	410	65	8,83	9,1
532	Точка	146	26,69367	53,232	Nesvzh14R	491	400	30	7,82	0
548	Точка	181	26,31433	53,50383	Turets15	700	400	35	7,843	0
241	Точка	290	26,62317	52,3585	Lunin20	537,5	385	30,2	7,56	0
540	Точка	161	27,42983	53,9585	Krynitsa2/69	473	380	75	7,58	0
531	Точка	145	26,68317	53,22283	Nesvzh13R	430	360	40	7,76	0
533	Точка	147	26,74617	53,22517	Nesvzh18R	360	356	40	7,75	0
529	Точка	143	26,67933	53,2095	Nesvzh6R	347	345	50	7,65	0
555	Точка	192	27	53,48817	Pukhovshchina_Mn507	657,5	340	40	7,124391	0
573	Точка	296	28,18133	52,88567	Rassvet1	434	335	15	7,78	9,14
535	Точка	149	26,708	53,251	Nesvzh22R	335	332	20	7,97	0
564	Точка	222	26,61617	53,7015	Borok51	381,2	330	25	7,14	8,13
558	Точка	195	26,40333	53,605	Rudna24Zh	414	323	60	7,435902	0
487	Точка	569	27,5125	52,316	Mikashевичи1 2	312	312	25	7,875	0
242	Точка	291	26,67333	52,31333	Lunin26	310	305	15	8,62	0
537	Точка	158	27,4355	53,935	MasyukovshchinaG10a	306	285	75	7,06	0
528	Точка	142	26,6945	53,22667	Nesvzh5R	292	280	75	7,96	0
594	Точка	544	29,02	54,42167	Samosedovka36TL	270	267	25	7,522777	0

Рисунок 1 – Вид данных термограмм

В колонках отражены глубина залегания нейтрального слоя и измеренная температура на этой глубине [1].

Геотермическое изучение кристаллического фундамента в подавляющем большинстве случаев не выполнялось. Расположение изученных скважин весьма неравномерное по территории области, их более плотная сеть относится к центральной и центрально-западной и центрально-восточной частям региона. Менее изученными оказались её северная и южная части. В пределах последней это отчасти компенсируется группой скважин, расположенных в прилегающей Гомельской обл.

Геотермическое изучение кристаллического фундамента в подавляющем большинстве случаев не выполнялось. Лишь в единичных случаях представлялось возможным выполнить регистрацию термограммы в первых метрах, иногда первых десятках метров в кристаллическом фундаменте.

Рассмотрим выборочно отдельные из карт и схем. На рис. 3 представлена карта распределения температуры на поверхности «нейтрального» слоя, ниже которой уже не ощущаются сезонные колебания температуры, распространяющиеся вглубь с земной поверхности.

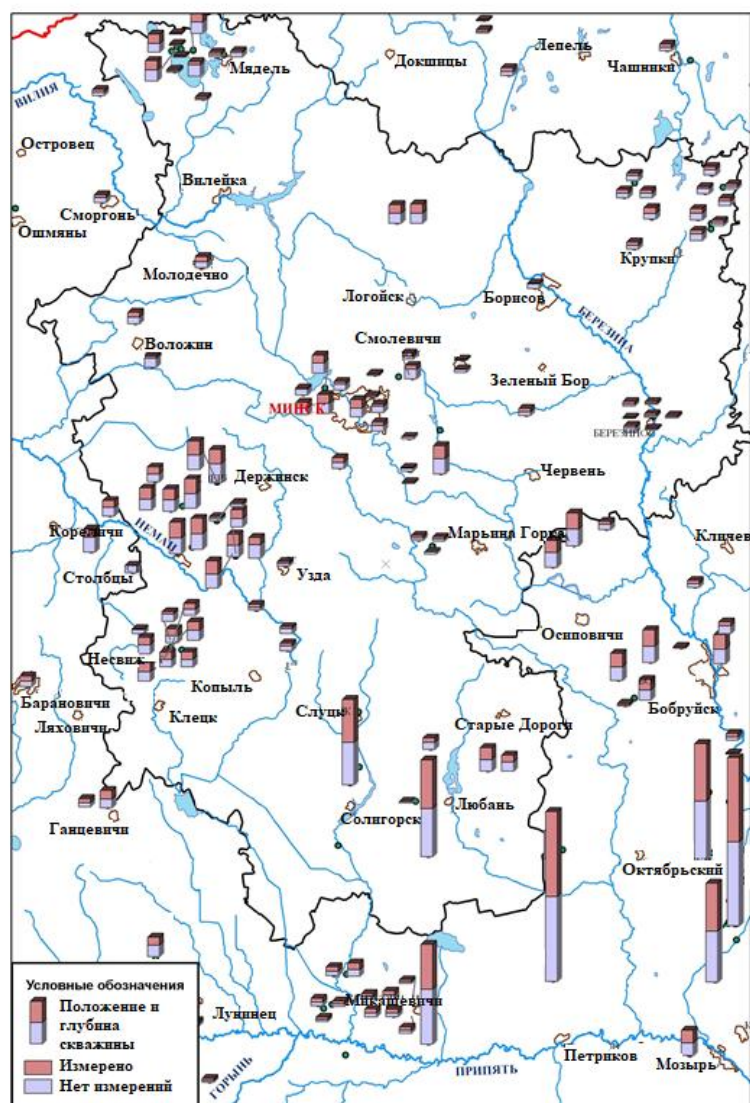


Рисунок 2 – Схема геотермической изученности территории Минской обл. и её обрамления. Вертикальными полосками показано местоположение и условная глубина изученных скважин, а соотношение серого и коричневого цветов отражает в условном масштабе их общую глубину и интервал, доступный для измерений скважинным термометром [1, с изменениями].

Температура «нейтрального слоя». В границах Минской обл. значение температуры изменяется в интервале 6,5–8,5 °С, на этом фоне формируются ряд геотермических аномалий. Не останавливаясь на их интерпретации, отметим, что в центральной и северной частях области с фундаментом докембрийского возраста преобладающими являются температуры 7,0–7,5 °С, они увеличиваются по мере приближения к Припятскому прогибу, основное формирование которого произошло в девоне, до значений 8,0–8,5 °С.

Глубина же залегания «нейтрального» слоя (рис. 4) зависит как от геологического строения каждого участка территории (наличие взаимосвязи между водоносными горизонтами, условий их питания метеорными водами), рельефа местности и интенсивности отбора подземных вод. В частности, в окрестностях крупного промышленного центра – г. Минска, окруженного более чем 10 водозаборами, – эта глубина превышает 90 м.

Ниже «нейтрального» слоя температура постепенно нарастает с глубиной. Карта её распределения на гл. 100 м приведена на рис. 5.

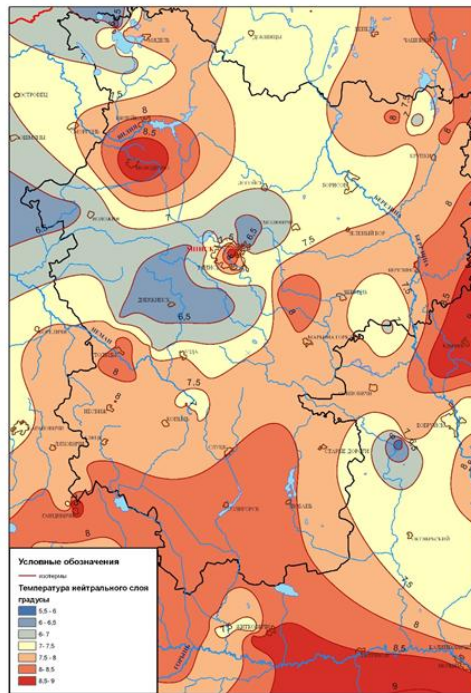


Рисунок 3 – Предварительная картосхема распределения температуры на поверхности «нейтрального» слоя для Минской обл. [1, с изменениями]

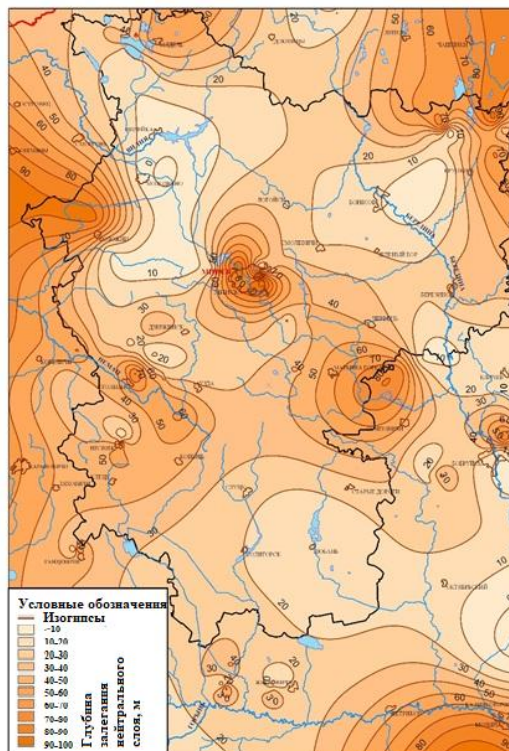


Рисунок 4 – Картосхема распределения глубины залегания «нейтрального» слоя для Минской обл. [1, с изменениями]

Аномалия низких значений менее 8 °С выделяется северо-восточнее г. Минска, а также в треугольнике между гг. Старые Дороги – Марьина Горка – Бобруйск. В центрально-западной части региона она простирается в пределы Гродненской обл. Эти обе территории остаются слабо изученными в геотермическом отношении и по мере накопления новых данных контуры обеих аномалий могут претерпеть изменения. Карта распределения температуры на гл. 200 м приведена на рис. 6.

На приведённых картах изолинии чёрным цветом; красными и синей жирными линиями обозначены границы Белорусской антеклизы и Оршанской впадины, соответственно; коричневыми линиями показаны границы областей; северная граница Припятского прогиба и Микашевичско-Житковичский выступ обозначены жирными линиями чёрного цвета; красными кружками обозначено положение изученных скважин, а звёздочками – основные населённые пункты.

За пределами Припятского прогиба, Оршанской и Подляско-Брестской впадин мощность платформенного чехла значительно сокращается, и глубина скважин, в которых зарегистрированы термограммы составляет первые сотни метров, что осложняет прогноз плотности геотермальных ресурсов в более глубоких горизонтах [4, 5].

По этой причине мы не приводим анализ структуры геотермического поля области для рассмотренных малых глубин (поверхность нейтрального слоя, гл. 100 и 200 м), которые целиком относятся к зоне активного водообмена. В этой зоне значительную роль играет циркуляция подземных вод [5]. Вследствие нисходящей их фильтрации (инфильтрации), происходит охлаждение верхней части платформенного чехла; наоборот, в зонах разгрузки подземных вод в долинах рек и озёрных котловинах восходящая фильтрация приводит к «подогреву» верхней части осадочной толщи.

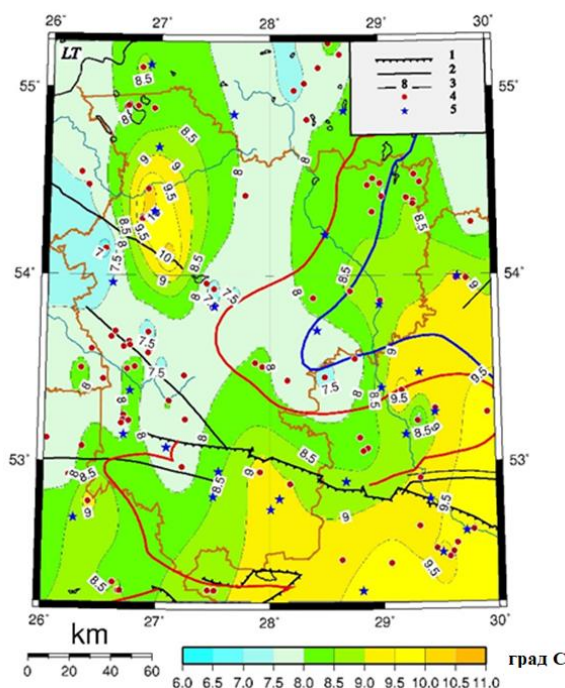


Рисунок 5 – Предварительная карта распределения температуры на гл. 100 м в пределах Минской обл.

Обозначения: 1 – суперрегиональный разлом; 2 – региональные разломы; 3 – изотермы, °С; 4 – изученные скважины; 5 – населённые пункты [2, 3, с изменениями]

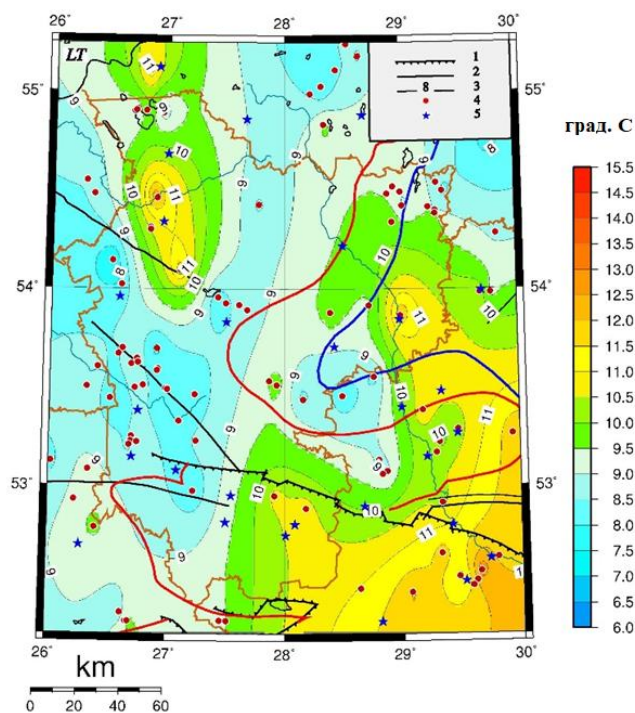


Рисунок 6 – Карта распределения температуры на гл. 200 м для Минской обл.
[2, 3, с изменениями]

Библиографические ссылки

1. Павловская О. А., Зуй В. И. Применение ГИС для моделирования особенностей распределения температуры в пределах нейтрального слоя Минской области // ГИС-технологии в науках о Земле : Материалы конкурса ГИС-проектов студентов и аспирантов ВУЗов Республики Беларусь, проведённых в рамках празднования Международ. дня ГИС-2011, 16 нояб. 2011 г. / Отв. ред. Д. М. Курлович. Минск, 2012. С. 35–39.
2. Зуй В. И. Тепловое поле платформенного чехла Беларуси. Минск : Экономпресс, 2013.
3. Геотермический атлас Беларуси / Под общ. ред. В. И. Зуя. Минск : Национ. б-ка Беларуси, 2018.
4. Зуй В. И. Основы геотермии (пособие). Минск : Изд-во БГУ, 2018.
5. Зуй В. И. Тепловой поток в зоне активного водообмена на северо-востоке Беларуси / Проблемы геологии Беларуси и смежных территорий : материалы Международ. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. акад. НАН Беларуси А. С. Махнача (Минск, 21–22 нояб. 2018 г.). Минск : Строй-МедиаПроект, 2018. С. 49–53.

УДК 550.836.2(234.9)

A LOOK AT THE GEOTHERMAL FIELD AND GEOTHERMAL ENERGY IN THE CAUCASUS REGION

Siamak Mansouri-Far

Belarus State University, Department of Geography and Geoinformatics,
Nezavisimosty ave. 4, 220030 Minsk, Belarus; siamak_mansourifar@yahoo.com

The surface heat flow density varies from 20–30 to 100 and 150 mW/m². The increased heat flow values predominant. Abnormally low heat flow (20–40 mW/m²) is found in sedimentary basins. Zones of young tectonic and volcanic activity are distinguished.

Key words: geothermal field; geothermal energy; Caucasus region.

Introduction. The Caucasus is situated in between the Black Sea and the Caspian Sea. Its area belongs to Russia, Georgia, Azerbaijan, and Armenia. It is a mountainous region including the Greater Caucasus mountain range, which has considered historically as a natural barrier between Eastern Europe and Western Asia, but is today accepted by the majority of scholars as being a part of Asia [1]. The European highest mountain the Elbrus, at 5,642 m is located in the west part of the Greater Caucasus mountain range. On the southern side, the Lesser Caucasus includes the Javakheti Plateau and grows into the Armenian highlands, a part of which is located in Turkey [2]. The Caucasus region is separated into northern and southern parts: the North Caucasus (Ciscaucasus) and South Caucasus (Transcaucasus), respectively. The Greater Caucasus mountain range in the north is a border of the Russian Federation with trans Caucasian republics, while the Lesser Caucasus mountain range in the south is occupied by several independent states, namely Georgia, Armenia, Azerbaijan [2]. The Caucasus is a large mountainous area covering about 440,000 km between the Black, Azov and Caspian seas (Fig. 1). The mountains are more than 1,000 km long, in a WNW-ESE striking range between the Caspian and Black seas and reach elevations over 5 km above the sea level.

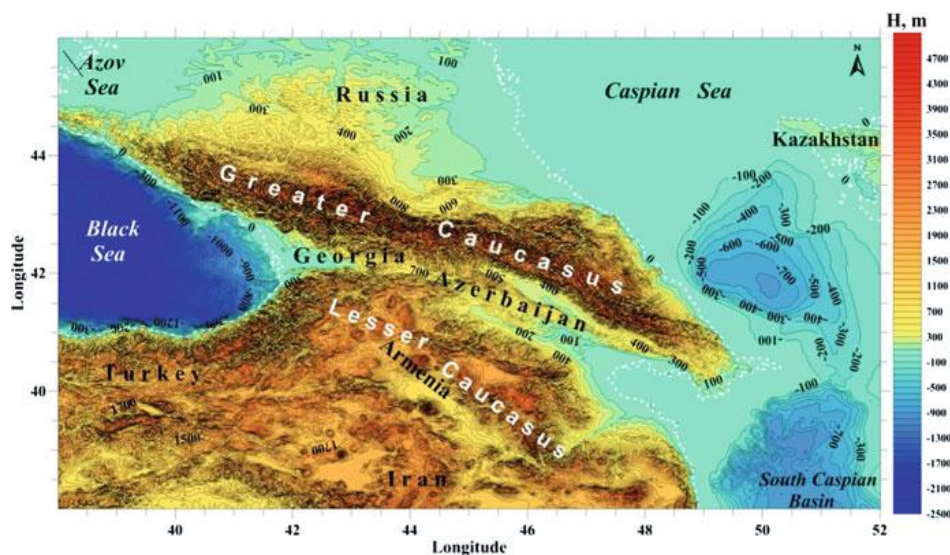


Figure 1 – Caucasus region map with topography and bathymetry data (constructed on the basis of the World Topography Database [3])

The geology of Caucasus. The structure and geological history of the Caucasus are determined largely by its position between the still converging Eurasian and Africa-Arabian lithospheric plates, within a wide zone of continental collision. During the Late Proterozoic–Early Cenozoic, the region belonged to the Tethys Ocean and its Eurasian and Africa-Arabian margins, where there existed a system of island arcs, intra-arc rifts, back-arc basins, characteristic of the pre-collisional stage of the evolution of the region. The region, along with other fragments, that are now exposed in the Upper Precambrian – Cambrian crystalline basement of the Alpine orogenic belt, was separated from the western Gondwana during the Early Paleozoic because of back-arc rifting above a south-dipping subduction zone. Continued rifting and seafloor spreading produced the Palaeotethys Ocean in the wake of northward migrating peri-Gondwanan terranes. Around 350 Ma the displacement of the Caucasian and other peri-Gondwanan terranes completed to the southern margin of Eurasia. Widespread emplacement of microcline granite plutons along the active continental margin of southern Eurasia during 330–280 Ma occurred above a north-dipping Palaeotethyan subduction zone. However, Variscan and Eo-Cimmerian–Early Alpine events did not lead to the complete clos-

ing of the Palaeozoic Ocean. The Mesozoic Tethys in the Caucasus was inherited from the Palaeotethys.

In the Mesozoic and Early Cenozoic, the Great Caucasus and Transcaucasus represented the Northtethyan realm – the southern active margin of the Eurasian lithospheric plate. The Oligocene–Neogene and Quaternary basins situated within the Transcaucasian intermountain depression mark the syn- and post-collisional evolution of the region; these basins represented a part of Paratethys and accumulated sediments of closed and semi-closed type. The final collision of the Africa-Arabian and Eurasian plates and formation of the present-day intracontinental mountainous edifice of the Caucasus occurred in the Neogene–Quaternary period. From the Late Miocene (c. a. 9–7 Ma) to the end of the Pleistocene, in the central part of the region, volcanic eruptions in subaerial conditions occurred simultaneously with the formation of molasse troughs. The geometry of tectonic deformations in the Transcaucasus is largely determined by the wedge-shaped rigid Arabian block intensively indenting into the Asia-Minor-Caucasian region. All structural-morphological lines have a clearly expressed arcuate northward-convex configuration reflecting the contours of the Arabian block. However, farther to north, the geometry of the fold-thrust belts is somewhat different – the Achara-Trialeti fold-thrust belt is, on the whole, W–E-trending; the Greater Caucasian fold-thrust belt extends in a WNW–ESE direction (Fig. 2).

Geothermal regime and geothermal energy in the Caucasus

Southern part of Russia. Daghestan Republic at the Northern Caucasus is one of the biggest area for the development of geothermal energy. Total amount of resources at the depth of 0.5–5.5 km allows obtaining approximately 4 million m³/day of geothermal fluid. At present, more than 7.5 million m³/year of hot water 50–110 °C is used in Daghestan. Among them, 17 % as hot water; 43 % for district heating; 20 % for greenhouses and 3 % for balneology and mineral water production. Totally in Daghestan about 180 wells have been drilled at a depth from 200 to 5,500 m. The regions of such towns as Kizlyar, Tarumovka and Jushnosukhokumsk, possess unique reserves of hot water. For instance, Tarumovskoye deposit has the reserves of geothermal water of high salinity (200 g/l) with temperature up to 195 °C. Six wells have been drilled to depths of about 5,500 m, the deepest geothermal wells in this part of Russia. Tests indicate high reservoir permeability with wells producing between 7,500 and 11,000 m³/day at wellhead pressures of 140–150 bar [5] (Fig. 3).

Republic of Azerbaijan. Geothermal energy is one of the most promising sources of alternative energy. There are different forms of manifestation of the Earth's heat to the surface, e. g. volcanoes, geysers, mud volcanoes, underground water in wells, etc. There are no active volcanoes and geysers at present in Azerbaijan, however there are enough exploration wells where temperatures of thermal water in aquifers are higher than 100 °C. The most interesting area is western part of the South Caspian basin along the Talysh-Vandam maximum [6]. This gravitation maximum reflects buried fragment of Mesozoic island arc, where local volcanic uplifts were explored in details as Muradkhanli oil field was discovered here in 70-s within the weathered and fractured volcanic rocks. The area is characterized by high fluid activity, which promotes the formation of local abnormally high heat flows. The Jarly-3 well is still outflowing to the ground surface with high production rate. The temperature of volcanic rocks here at 2,800–3,000 m depth in some places is higher than 100 °C [7] (Fig. 4). Total energy capacity of thermal waters for hydrogeological areas determined based on their commercial reserves is presented in Tab. 1 [9, 10].



Figure 2 – Tectonic map of the Caucasus [4]
 Basement Salients: Dzirula (Dz), Khrami (Kh), Loki (Lo), Tsak uniats (Ts) Akhum (Ah), Asrik hai(As).
 Metamorphic complexes: Chugush (Ch), Laba (La), Buulgen (Bu), Kassar (Ka), Dizi (Di).



Figure 3 – Geothermal resources of the Southern part of Russia (Krasnodar and Stavropol regions, Daghestan and Chechen Republics) [21]



Figure 4 – Geothermal energy and mineral water resources of Azerbaijan [8]

Table 1 – Capacity of thermal waters based on their commercial reserves [9, 10]

Hydrogeological areas	Water T, °C	Water flow rate, m ³ /day	Energy potential, MW
Absheron Peninsula	20–90	20 000	up to 504
Kur depression	22–95	172 466	up to 47 · 10 ³
Greater Caucasus	30–50	2 000	up to 168
Lesser Caucasus	30–74	4 171	up to 771
Gusar foothill lowlands	30–97	21 654	up to 609
Nakhchivan	40–53	3 000	126–290
Talysh	31–64	14 405	605–778
Lyankaran	42–84	7 908	399–1 129
Total	–	245 604	up to 51 · 10 ³

Georgia. Owing to its geological location, Georgia has considerable resources of middle and high temperature thermal water (33–108 °C). Most of geothermal wells are middle depth and non-operating. On the other hand, the economic development of the country relies largely to energy production. Geothermal potential of Georgia exhibits a promising resource that might be available for energy production. This requires an extensive study to reassess the geothermal potential of the country. Several projects were implemented and some others are underway to achieve this purpose. Georgia has a high potential of geothermal resources, some have been in use since ancient times. The major areas of utilization are balneology resorts, local heating systems, processing industry, and greenhouses. Georgia abounds in geothermal resources, concentrated in 44 deposits. According to preliminary estimations, their heat power is 420 megawatts, and elaboration of thermal energy is maximum 2.7 million megawatt-hour/year [11]. However, the most of the existing 50 geothermal wells in Georgia are of medium depth and supply water at temperatures ranging between 40 to 60 °C. It also should be noted that part of these wells are non-operational. By estimation of the Georgian Geothermal Association, the Georgian energy sector uses about 45,000 m³/day from a total of 90,000 m³/day. Therefore, a reassessment of the geothermal potential of Georgia is of major importance from the standpoint of economic development of the country based upon renewable, ecological cleaner energy source [11].

Owing to the high geothermal potential in the South Caucasus and particularly in Georgia, a confirmed total water reserve of 90,000 m³/day, corresponding to a heat potential of 500,000 tons of equivalent fuel annually, has been recorded [12]. The heat flow for the main parts of Georgia can be listed as follows: 1) The south flank of Caucasus Mountains – 100 mW/m²; 2) Plate of Georgia: a) For the west zone 40 mW/m², b) for the east zone 30 mW/m²; 3) Adjara-Trialeti folded system: a) Central part 90 mW/m², b) the east zone 50 mW/m²; 4) Artvin-Bolnisi platform 60 mW/m².

Fig. 5 shows the main geothermal fields in western Georgia where the reservoir formations are fractured karstic limestones of the lower Cretaceous in the sedimentary trough and at the southeast, where the reservoir formations are volcanic and sandstones of Paleocene-Middle Eocene in the fold system. Thus, we see the following pattern in the distribution of heat flow: its maximum is observed for the central zone of the folded part of Georgia and the minimum is for the plate. The heat flow for the Adjara-Trialeti folded system is characterized by the middle range. The temperature condition of Paleocene – Middle Eocene thermal water bearing complex is better investigated for the Tbilisi region [13–15]. This investigation revealed that the temperature condition of this complex is influenced at depth by a layer of high thermal resistivity upper Eocene rocks as well as their thickness. From the surface of the volcanic-sediment formation of middle Eocene, the temperature of rocks increases to all direction from 20 till 100 °C. To the northeast the increase in temperature is less than to the other direction because of the nearness of the plate. On the contact of Cretaceous – Eocene the temperature has a remarkable variation: to the farthest north and east, where Low Cretaceous is raised to 500 m we have the temperature variation from 100 till 160 °C, when to the west, where the Cretaceous extends to 4,000 m depth, we have temperature about 240 °C.

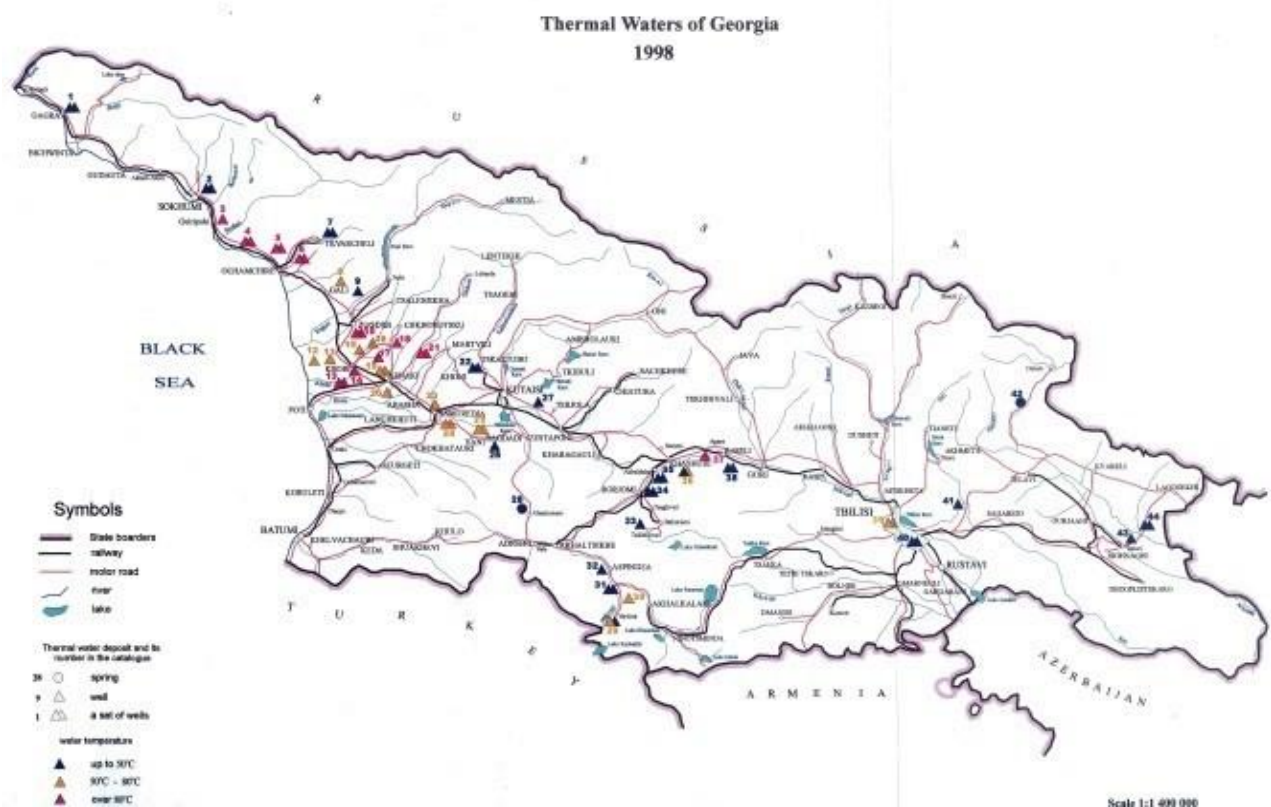


Figure 5 – Main geothermal fields in Georgia [13–15]

Armenia. Although no high-temperature geothermal resources have been identified in the Republic of Armenia, numerous low temperature resource areas (cooler than 100 °C) are present, mostly within a belt of Quaternary volcanism and elevated heat flow that trends northwest-southeast through the central part of the mountainous country. The use of geothermal energy in Armenia is

quite limited at present, and mostly takes the form of small-scale and informal applications. However, significant investigations of the country's thermal areas have been undertaken, mostly during the Soviet era. As a result, the information available is more extensive than it might be in some other countries with similar levels of resource utilization. For example, thermal springs have been catalogued and described, and hundreds of shallow wells have been drilled, mostly for investigating of mineral water sources throughout the country [16]. In addition to the investigations and reviews carried out by local specialists, some studies of geothermal resources in Armenia have been funded and carried out by foreign entities [17–19]. Regional heat flow has been interpreted from measurements in numerous drill holes throughout the country, many of them were drilled specifically for measurement of temperatures and rock thermal conductivities. Three heat flow zones have been distinguished based on heat flow data and temperature gradients (Fig. 6).

The northeastern zone of Armenia (Zone I) is characterized by low heat flow (less than 60–75 mW/m²) and low temperature gradients (less than 43 °C/km). The central zone (Zone II), which coincides closely with the belt of Quaternary volcanoes, is one of high heat flow (75 to more than 90 mW/m²) and elevated temperature gradients (generally greater than 50 °C/km). The southwestern zone (Zone III) has low heat flow (less than 60–75 mW/m²) and generally low temperature gradients (less than 33 °C/km), but higher gradients occur locally (Tab. 2)

Conclusion. There are several heat flow levels in the Caspian–Caucasus–Black Sea region defined by the structure and time of tectonic activity of the lithosphere.

The surface heat flow density varies from 20–30 to 100 and 150 mW/m². The increased heat flow values predominant. Abnormally low heat flow (20–40 mW/m²) is found in sedimentary basins. Zones of young tectonic and volcanic activity are distinguished.

Characteristic features are heat flow anomalies, running transversal to the main course of the Alpine units. They are related to deep fault zones crossing these structures (from the Arabian Plate to peri-Caucasus region).

From an analysis of the heat flow distribution on maps, a conclusion can be drawn on the genetic relationship between the heat flow pattern and the tectonic evolution of the Caspian Sea – Caucasus – Black Sea region, its position between the still converging Eurasia and Arabian – Africa lithosphic plates within the wide zone of continent-continent collision.

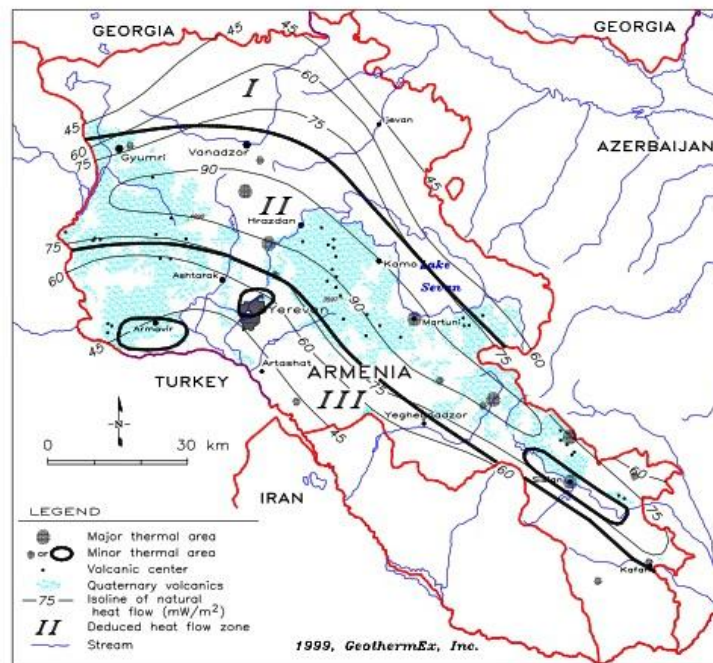


Figure 6 – Contours of heat flow with deduced heat flow zones [20]

Table 2 – Characteristics of principal geothermal resource areas, Republic of Armenia [20]

Area	Maximum known resource temperature, °C	No. of wells drilled	Typical well depth, m	Maximum well depth, m	Estimated combined production rate, l/sec
Jermuk	63	>30	150–500	642	>17
Vorotan River valley	43	14+	150–250	1 158	100–200
Ankavan	42	11+	50–100	410	>40
Arzakan	45	2	?	800	7 + ?
Martuni	40+	3+	500–900	971	>6
Jermukpur	99	2	600–1 000	1 000	0

References

1. «Caucasus – region and mountains, Eurasia». Encyclopedia Britannica. Retrieved 2018-11-26. «The watershed of the Greater Caucasus, the backbone of the system, traditionally has been part of the line dividing Europe and Asia; but the whole region is so subject to Asian influences that there is now general agreement on assigning the Caucasus to Asia». Wikipedia.
2. «Caucasus – region and mountains, Eurasia». Encyclopedia Britannica. Retrieved 2018-11-26. «West of the Kura-Araks Lowland rises the Lesser Caucasus range, which is extended southward by the Dzhavakhet Range and the Armenian Highland, the latter extending southwestward into Turkey». Wikipedia.
3. *Smith W. H. F., Sandwell D. T.* Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings // *Science*. 1997. Vol. 277. P. 1957–1962.
4. *Adamia Sh., Chabukiani A., Chkhotua T., Sadradze N., Zakaraia D., Zakariadze G.* Geology of the Caucasus and adjacent areas, 1 : 250 000 scale geological map // Proc. XIX Congr. of the Carpathian-Balkan Geol. Assoc. Thessaloniki, Greece, 23–26 Sept. 2010. P. 19.
5. *Magamedov K. M., Alkhasov A. V., Aliyev R. M.* Geothermal energy prospects in Daghestan // *IGA News*. 1999. N 36. P. 3–4.
6. *Nadirov R. S.* Geology and Oil-Gas Potential of the area of the Talysh-Vandam gravity maximum: Theses of Ph. D dissertation. Baku, 1985.
7. *Aliyev S. A., Mukhtarov A. Sh., Aliyev Z. A., Bagirli R. C.* Geothermal investigations in Azerbaijan. *Azerbaijan Geology*. 2002. Vol. V.
8. *Nabiyev N. D., Bashirov M. M., Safarov J. T., Shahverdiyev A., Hassel E.* Thermodynamic Properties of the Geothermal Resources (Khachmaz and Sabir-Oba) of Azerbaijan // *J. Chem. Eng. Data*. 2009, Vol. 54, P. 1799–1806.
9. *Mukhtarov A. Sh., Khammedov A. M.* Geothermal resources of Azerbaijan // Materials of Int. Workshop «Problems of geothermal energy development in the CIS countries and the activities of international Geofond: Materials of «Geofond-2003». Project of Worldbank and Global Environmental Fond for development of geothermal energy in Europe and Central Asia: with participation of CIS countries. Moscow, 2003. P. 27–32 (in Russian).
10. *Tagiyev I. I., Ibrahimova I. Sh., Babayev A. M.* Mineral and Thermal water resources of Azerbaijan. Baku : Chashyoglu, 2001 (in Russian).
11. SEEC (South East Europe Consultants) 2007. Georgia: Strategic Environmental Assessment of Power Sector Development, Final Rep. 2007.
12. *Tsertsvadze N., Buachidze G., Vardigoreli O., Vashakidze B., Inaishvili T., Kotrikadze N., Tsertsvadze L.* Thermal waters of Georgia. Tbilisi, 1998.
13. *Buntebarth G., Chelidze T., Melikadze G.* Hydrodynamic and microtemperature monitoring in seismic areas // *Georgian Eng. News*. 2004. N 3. P. 12–132.
14. *Jimsheladze T., Kapanadze N., Melikadze G.* Microtemperature observation in Tbilisi seismoactive region // *J. Georgian Geophys Assoc.* 2008. Vol. 12. P. 75–81.
15. *Bunterbarth G., Kapanadze N., Kobzev G., Melikadze G.* Re-assessment of the Geothermal Potential of Tbilisi region: The Hydrodynamic Digital Model Project // «Environment and Recourses», Assoc. of Acad. of Science in Asia Workshop, 25–27 Sept. 2009, Izmir, Turkey. P. 154–161.

16. *Mkrtchian S. S.* Geology of the Armenian SSR (Vol. IX – Mineral Waters). Yerevan : Acad. of Science of the Arm. SSR, Inst. of Geol. Sciences, 1969 (in Russian).
17. Lahmeyer International GmbH. Development Planning in the Armenian Power Subsector. 1994.
18. Lahmeyer International GmbH. Update of Least Cost Power Investment Program, Armenia. 1996.
19. Petroleum Geology Investigators ApS. Armenian Geothermal Project Reconnaissance Study – Final Rep. Rep. for Int. Bank for Reconstruction and Development. 1998.
20. *Henneberger R., Cooksley D., Hallberg J.* Geothermal resources of Armenia // Proc. World Geothermal Congr. 2000, Kyushu–Tohoku, Japan, May 28–June 10, 2000. Geothermex, Inc., Geothermal Exploration Development And Operation 5221 Central Ave, Suite 201, Richmond CA 94804 (510). P. 1217–1222.
21. *Svalova V., Povarov K.* Geothermal Energy Use in Russia. Country Update for 2010–2015 [Electronic resource] // Proc. World Geothermal Congr. 2015 Melbourne, Australia, 19–25 April 2015. URL: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01061.pdf> (date of access: 02.01.2020)

УДК 556.31

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕЛАРУСИ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

О. В. Силицкая

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; silitckaya@yandex.by

Представлены данные о ресурсах и эксплуатации подземных вод Беларуси. Охарактеризован их химический состав. Дан анализ гидрогеохимических данных по гидрологическим бассейнам за период 2011–2020 гг. Установлено, что в целом по республике основными показателями загрязнения подземных вод являются NH_4^+ и NO_3^- . Рассмотрено влияние отвалов добычи солей и отвалов фосфогипса на подземные воды. Прослеживается сильное химическое загрязнение Cl^- и SO_4^{2-} в Солигорском горнодобывающем районе, а также PO_4^{3-} и SO_4^{2-} в зоне расположения отвалов фосфогипса Гомельского химического завода.

Ключевые слова: подземные воды; питьевое водоснабжение; гидрогеохимические показатели; загрязнение; отвалы фосфогипса; вредные выбросы терриконов.

В Беларуси практически весь объём хозяйственно-питьевого водоснабжения базируется на эксплуатации пресных подземных вод, в связи с чем проблема качества подземных вод является сегодня наиболее актуальной.

Подземные воды Беларуси представлены тремя классами: пресными, солоноватыми и солёными водами, а также рассолами [8].

На территории Беларуси мощность слоя пресных вод питьевого назначения колеблется в пределах от 100 до 1 000 м [7]. Основными водоносными горизонтами являются 3 повсеместно выдержанных комплекса (верхнепротерозойских отложений и верхней трещиноватой зоны кристаллического фундамента, девонских отложений, отложений четвертичной системы), а также водоносные комплексы кембро-силурийских, силурийско-ордовикских, каменноугольных, пермско-триасовых, юрско-меловых и палеоген-неогеновых образований фрагментарного распространения [4].

В ненарушенных условиях на территории Беларуси формируются пресные подземные воды гидрокарбонатного кальциевого и магниевое-кальциевого состава с минерализацией 0,2–0,5 г/дм³. На участках разгрузки глубинных минерализованных вод, приуроченных к региональным тектоническим разломам и солянокупольным структурам в Припятском прогибе, наблюдается увеличение минерализации до 4–6 г/дм³, и воды приобретают хлоридный натриевый состав [6].

В последние десятилетия увеличивается антропогенное воздействие на подземные воды, что обуславливает повышение содержания химических элементов в них, иногда выше ПДК [5].

В ходе выполнения работы на первом этапе исследований были проанализированы гидрогеохимические данные по гидрологическим бассейнам за период 2011–2020 гг., выполнено сравнение полученных данных относительно их ПДК, рассмотрены локальные источники загрязнения подземных вод на территории Беларуси.

На территории Беларуси большое количество NO_3^- поступает в водные объекты с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами особенно после их гидробиологической очистки, когда их концентрация достигает 45 мг/дм^3 . Кроме того, NO_3^- попадает в воды со стоком с сельскохозяйственных угодий и со сбросными водами с орошаемых полей, на которых применяются азотные удобрения [2].

На рис. 1 видно, что превышения ПДК по NO_3^- в гидрологических бассейнах Беларуси фиксировались с 2013 по 2016 гг. Максимальная концентрация, превышающая ПДК в 3,3 раза, наблюдалась в 2015 г. в бассейне р. Днепр. Повышенные концентрации свидетельствуют о неудовлетворительном качестве воды в этих бассейнах и о том, что NO_3^- действительно являлся активным загрязнителем подземных вод. С 2017 г. по настоящее время ни в одном гидрологическом бассейне не выявлены превышения по NO_3^- .

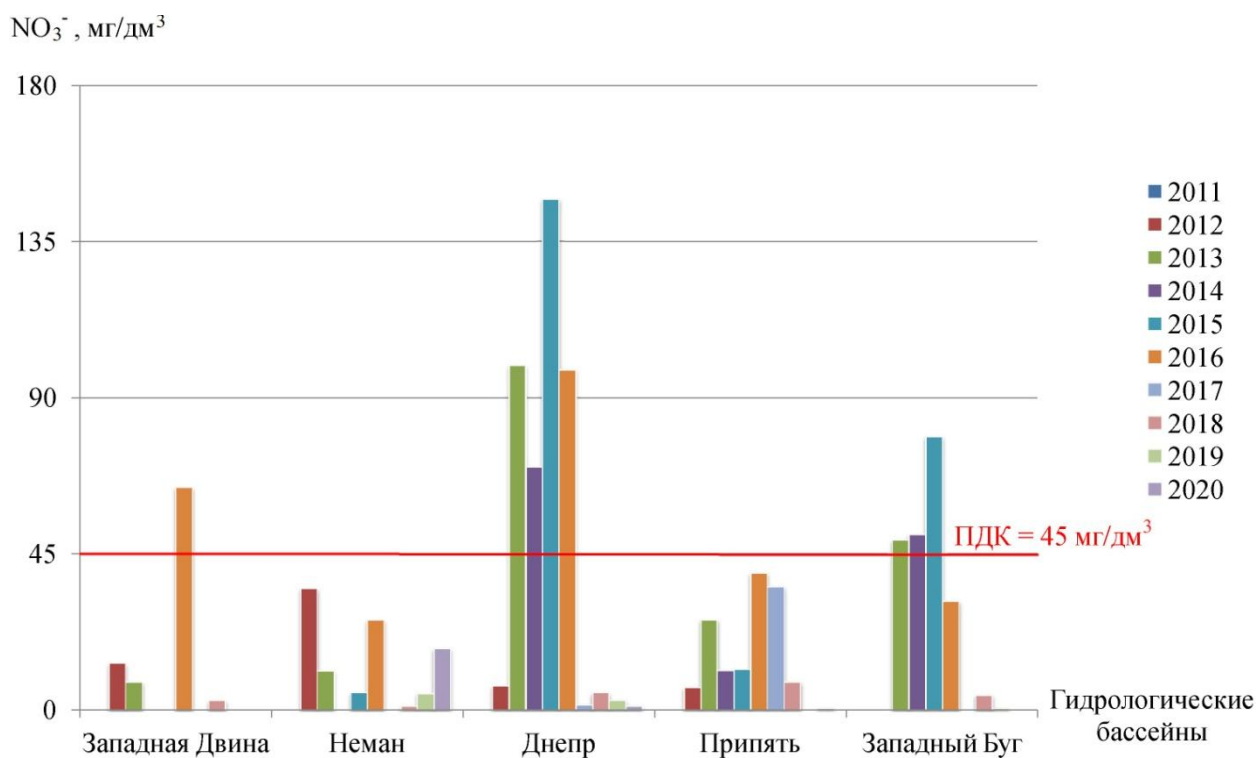


Рисунок 1 – Содержание NO_3^- в пресных подземных водах Беларуси в период 2008–2019 гг. [9]

NH_4^+ является основным компонентом сельскохозяйственного загрязнения подземных вод. Основными источниками поступления NH_4^+ в водные объекты являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической, химической промышленности [2].

Максимальная концентрация NH_4^+ , превышающая ПДК в 10 раз, отмечена в 2014 г. в бассейне р. Припять (рис. 2). Повышенные концентрации в 2020 г. не выявлены, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии гидрологических бассейнов в настоящее время.

Повышенное содержание Cl^- и SO_4^{2-} в гидрологических бассейнах за рассмотренный период не выявлено.

Таким образом, в целом по республике в 2020 г. гидрохимический режим свидетельствует об удовлетворительном качестве подземных вод по среднему содержанию основных контролируемых макрокомпонентов.

На территории Беларуси локальное воздействие на качество подземных вод оказывают объекты хранения и захоронения промышленных отходов. На протяжении многих лет значительное влияние на подземные воды вызывали места хранения крупнотоннажных отходов ОАО «Гомельский химический завод» в Гомельской обл. и ОАО «Беларуськалий» в Минской обл. [9]

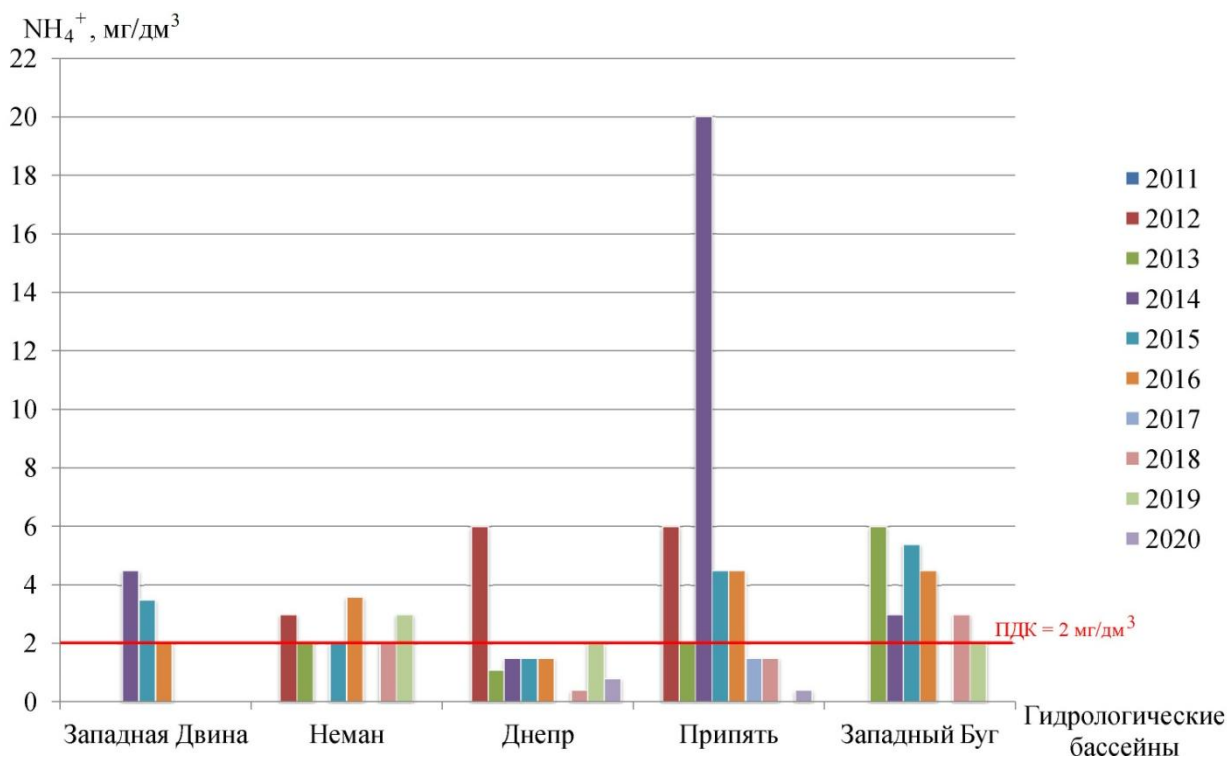


Рисунок 2 – Содержание NH_4^+ в пресных подземных водах Беларуси в период 2008–2019 гг. [9]

На территории ОАО «Гомельский химический завод» отмечается значительное содержание PO_4^{3-} , который является специфическим загрязнителем для данного объекта. Наиболее высокие концентрации фиксируются в наблюдательной скв. № 51, расположенной на границе контура отвала, здесь их концентрация превышает ПДК более чем в 150 раз. В остальных скважинах концентрации значительно ниже (в диапазоне 0,005–0,14 мг/дм³) [9].

Анализ многолетних наблюдений (рис. 3) показал, что уровень концентрации PO_4^{3-} снижался в период 2012–2019 гг. По результатам наблюдений в 2020 г., концентрация составила 585 мг/дм³ и стала выше прошлогоднего значения на 218 мг/дм³.

В наблюдательных скважинах отвала фосфогипса также отмечается высокое содержание SO_4^{2-} . Сульфатное загрязнение преобладает в зоне ближней периферии отвалов, а также распространяется в глубину. Максимальные концентрации в 5 раз превышают ПДК. По мере удаления скважин от отвала фосфогипса степень влияния на подземные воды уменьшается [3, 10].

Для подземных вод в районе размещения солеотвалов и шламохранилищ 4 рудоуправлений ОАО «Беларуськалий» характерно высокое содержание Cl^- и SO_4^{2-} . Наиболее высокое содержание загрязняющих веществ фиксируется в скважинах

рудоуправления № 2. Максимальные значения концентраций SO_4^{2-} в 2020 г. составили $1\,275 \text{ мг/дм}^3$ (2,5 ПДК), а Cl^- – $139\,884,4 \text{ мг/дм}^3$ (400 ПДК) [1, 9].

Средние значения концентраций хлоридов по рудоуправлениям в наблюдательных скважинах в период 2017–2020 гг. приведены на рис. 4. Данные свидетельствуют о стабильно высоком уровне концентрации данного иона в местах расположения солеотвалов и шламохранилищ ОАО «Беларуськалий».

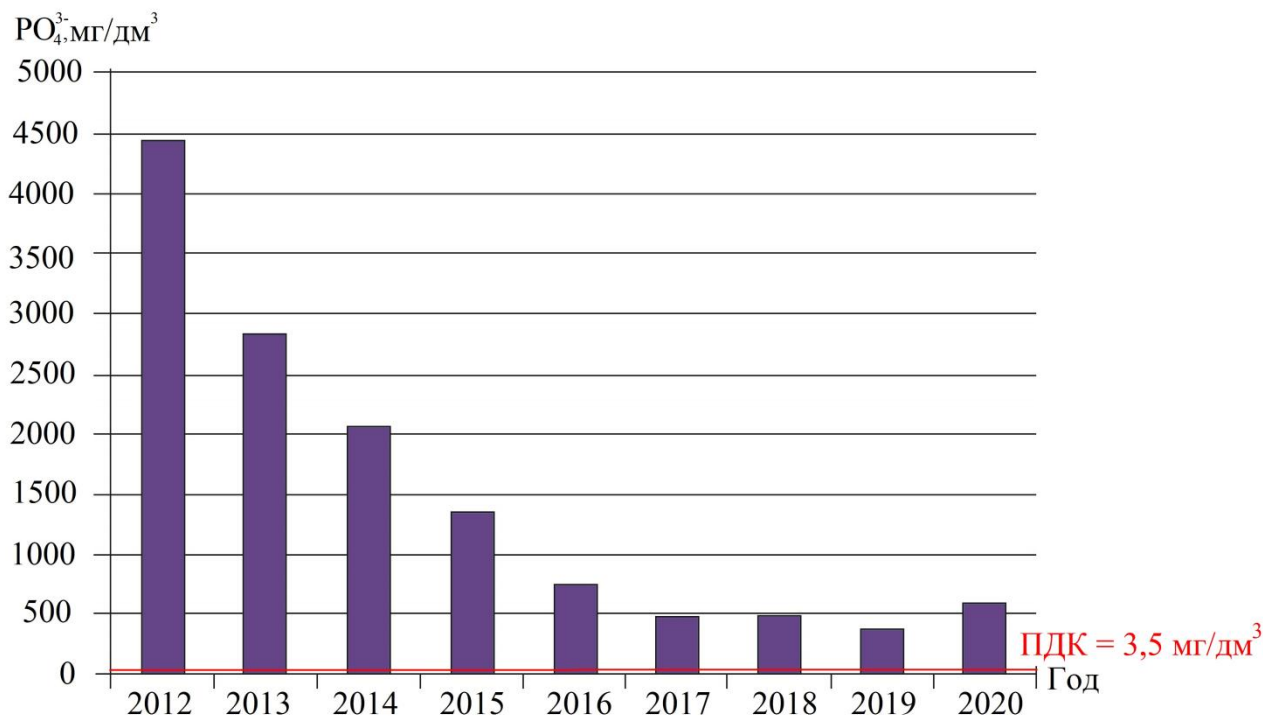


Рисунок 3 – Концентрация PO_4^{3-} в наблюдательной скв. № 51 отвала фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод» в период 2012–2020 гг. [9]

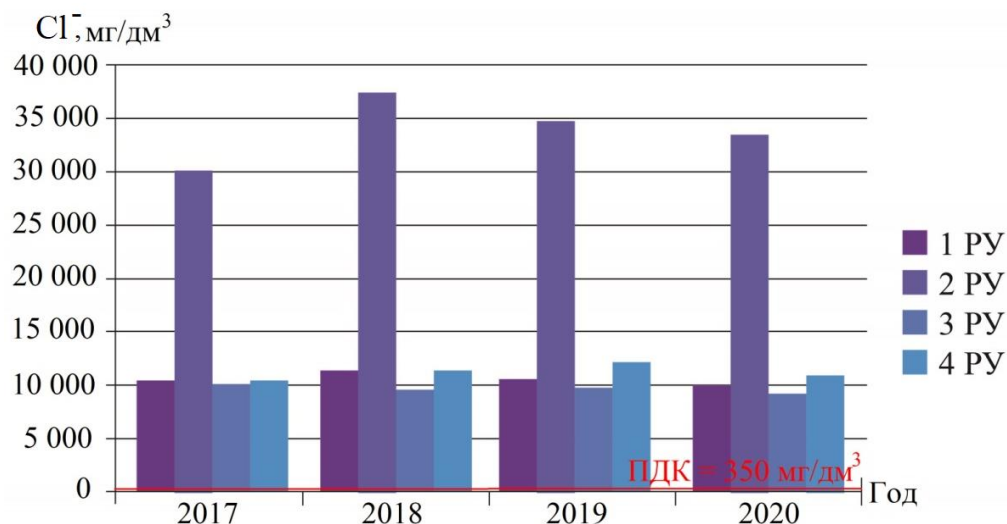


Рисунок 4 – Среднее значение концентрации Cl^- в наблюдательных скважинах солеотвалов и шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» в период 2017–2020 гг. [9]

Из изложенного следует, что в Солигорском горнодобывающем районе наиболее масштабна хлоридная и сульфатная контаминация, в зоне расположения отвалов фосфогипса Гомельского химического завода – фосфатная и сульфатная.

Таким образом, рассматривая проблему качества подземных вод на региональном уровне, невозможно полностью рассмотреть состояние подземных вод, для более точных результатов следует обратить внимание на локальные источники загрязнения. В пределах мест расположения локальных источников загрязнения следует вести политику, направленную на то, чтобы уменьшить производство отходов, загрязняющих подземные воды. Также следует предусмотреть пути использования накопившихся солеотвалов, шламохранилищ, отвалов фосфогипса для уменьшения техногенной нагрузки на подземные воды, находящиеся в пределах рассмотренных горнодобывающих предприятий.

Библиографические ссылки

1. Жуковец А. М. Воздействие горнодобывающих предприятий на поверхностные и подземные воды на примере ОАО «Беларуськалий» // Акт. проблемы экологии : материалы XII Международ. науч.-практ. конф, Гродно, 4–6 окт. 2017 г. / редкол.: В. Н. Бурдь [и др.]. Гродно, 2017. С. 195–197.
2. Зенин А. А., Белоусова Н. В. Гидрохимический словарь / Под ред. А. М. Никанорова. Л. : Гидрометеиздат, 1988.
3. Коцур В. В. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена на территории влияния Гомельского химического завода : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.09. Минск : ИГН НАН Беларуси, 2004.
4. Кудельский А. В. История воды: происхождение, возраст, эволюция состава. Минск : Беларус. навука, 2017.
5. Кудельский А. В. Подземные воды Оршанской впадины. Минск : Беларус. навука, 2019.
6. Кудельский А. В., Пашкевич В. И., Ясовеев М. Г., Шпаков О. Н., Коркин В. Д. Пресные подземные воды Беларуси (ресурсы и качество) // Літасфера. 1994. № 1. С. 160–167.
7. Кудельский А. В., Пашкевич В. И. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси. Минск : Беларус. навука, 2014.
8. Махнач, А. А., Кудельский А. В. Очерк геологии Беларуси. Минск : Беларус. навука, 2019.
9. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [Электрон. ресурс] / Гл. информ.-аналит. центр Национ. системы мониторинга окруж. среды Республики Беларусь. Минск, 2020. URL: <http://www.nsmos.by/content/423.html> (дата обращения: 22.10.2020).
10. Шеринёв О. В. Оценка воздействия отходов фосфогипса на компоненты окружающей среды // Эколог. вестн. 2016. № 2. С. 97–103.

УДК 553.061:553.449

О ПРОЯВЛЕНИИ РТУТИ В БЕЛАРУСИ

Я. Г. Грибик¹, П. Г. Альтшулер¹, А. В. Беляшов²

¹Институт природопользования НАН Беларуси,
ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; yaroslavgribik@tut.by

²Научно-производственный центр по геологии, филиал «БКГРЭ»,
ул. Геологическая 117, 220138 Минск, Республика Беларусь; belashov@tut.by

Проявление Hg в д. Барченки Ветковского р-на имеет природное происхождение и связано с расположением населённого пункта над тектоническим нарушением, по которому возможна эманация глубинных паров Hg с конденсированием их в поверхностных условиях в виде металлических шариков. Возможным вариантом представляется также расположение в разрезе осадочного чехла немагнитной погрёбённой диатремы, сопровождающейся ртутными эманациями.

Ключевые слова: ртуть; тектонические нарушения; Беларусь.

История вопроса. В 1973 г. в геологическую службу треста «Белнефтегазразведка» (г. Гомель) поступило заявление от У. И. Радьковой, проживавшей в д. Барченки Преснянско-

го сельсовета Ветковского р-на Гомельской обл., о проявлении в её доме Hg. Выездом на место подтверждено наличие Hg в виде металлических серебристых шариков диаметром 3–5 мм не только в доме, а также в подполье, за штукатуркой стен, в подворье дома на грядках с песчаной почвой возле дома № 3 по ул. Интернациональной. Собранная проба Hg более 100 г в стеклянной банке была представлена в Гомельскую санитарную станцию, которая в последующем выполнила количественное определение паров Hg в домах по ул. Интернациональной. Содержание паров Hg измерялось в воздухе, а также за штукатуркой и в земле (табл.).

Таблица – Содержание паров Hg в д. Барченки в домах по ул. Интернациональной

№ дома	Содержание Hg, мг/м ³
1	воздух – не обнаружено, земля – 0,0009, штукатурка – 0,0007
2	воздух – 0,005–0,106; 0,027–0,106, штукатурка – 0,003
3	воздух – 0,002–0,01, 0,002–0,012, штукатурка – 0,19, земля – 0,002
4	воздух – 0,026; 0,005–0,058, штукатурка – в большом количестве, земля – в большом количестве
8	воздух – 0,002, земля – 0,0009
13	воздух – 0,002–0,01

Примечание: Расстояние между домами 1–4 – 50–70 м, домами 4, 8, 13 – 200 м.

Последующими периодическими посещениями Барченковского ртутопроявления различными комиссиями подтверждалось устойчивое содержание Hg. Однако природа ртутопроявления не была установлена и многими официальными представителями и некоторыми научными сотрудниками стрелки переводились на техногенное проявление, т. к. район проявления находился за пределами палеорифтовой зоны в 35,0 км к северу от крупноамплитудного Северопрпятского краевого разлома. Со временем, в связи с аварией на Чернобыльской АЭС в 1986 г., радиоактивной загрязнённостью Ветковского р-на и частичным выездом населения, экологическая напряжённость по ртутопроявлению была ослаблена и забыта. Однако, два первых автора настоящего сообщения, неоднократно выезжавшие в д. Барченки и убедившиеся в том, что идёт постоянное восполнение Hg в местах концентрации, особенно за штукатуркой, считали и до сих пор считают, что это природное проявление. В некоторой степени такое мнение подтверждалось также материалами статьи [1], посвящённой геологическим критериям поисков месторождений Hg в Беларуси. В силу этих обстоятельств в последующем было принято решение об инструментальной проверке проявления Hg.

Ртутометрическое обследование. Геофизическая экспедиция в ноябре 2003 г. по заданию РУП «Белгеология» выполнила ртутометрические измерения в д. Барченки Ветковского р-на с целью проверки предположения о естественной природе высоких концентраций Hg в домах по ул. Интернациональной (рис. 1). Выполнено 71 измерение содержания паров Hg в почвенном воздухе при помощи прибора АГП-1. Наблюдения выполнены на 3 профилях: № 2 – вдоль ул. Интернациональной от указателя «д. Барченки», длиной 600 м, разбит при помощи мерного шнура; № 1 в 25 м от профиля № 2 на север; и № 3 – в 50 м от профиля № 2 на юг. Кроме этого выполнены наблюдения вокруг домов № 1–4. Наблюдения выполнялись при отборе воздуха из шпура, пробитого ломом на гл. 50–70 см, три шпура на 1 точку.

Дома № 2 и 4 заброшены, но вид у них жилой; дом № 1 – полуразрушен, а от дома № 3 остался фундамент и 2 стены. Наибольшие концентрации Hg отмечены под полом веранды дома № 2 – $4\,288 \cdot 10^{-9}$ мг/дм³ и перед домом № 4 – $978 \cdot 10^{-9}$ мг/дм³. В целом вдоль дороги и вокруг домов содержание паров Hg в почвенном воздухе повышенное. На профилях № 1 и 3 в районе домов № 1–4 содержание Hg фоновое, за исключением пикета ПК 0.75 ПР 1 ($71 \cdot 10^{-9}$ мг/дм³).

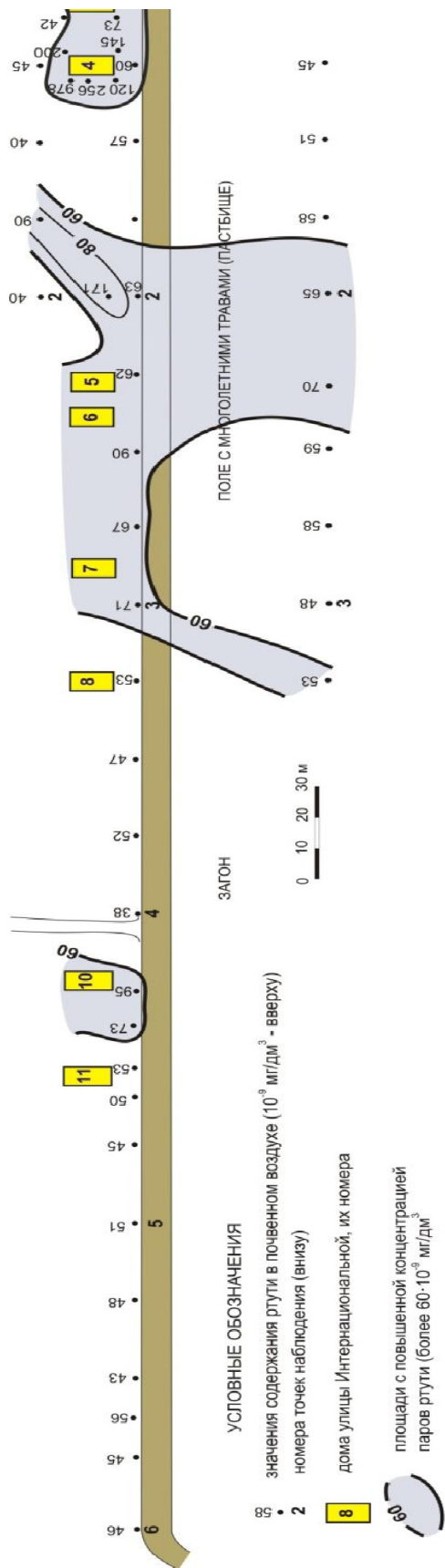


Рисунок 1 – Карта распределения концентрации паров Hg в почвенном воздухе д. Барченки, Ветковский р-н (составил А. В. Беляшов, 2003)

Дорога вдоль домов № 5–7 и 10 содержит повышенные концентрации паров Hg; внутри усадьбы этих домов обследования не производились. Некоторый интерес представляют повышенные значения ПК 1.75 ПР1, ПК 2+5м к С ПР2; ПК 2 и ПК 2.25 ПР 3. Эти значения предполагаются на всех 3 профилях и, похоже, приурочены к понижению в рельефе местности.

Природа проявления Hg. В 1970–1990-е гг. в условиях Припятского прогиба выполнялся в опытном порядке широкий комплекс так называемых прямых методов поисков нефти. Он включал комплекс геохимических, геофизических, и лабораторных исследований с бурением скважин и шпуров разной глубины. К счастью, в 1991–1993 гг. в пределах Североприпятского плеча эти исследования сопровождалось ртутнометрическими измерениями в шпурах гл. 0,6–0,7 м с шагом 50 м. Измерения содержания Hg в почвенном воздухе осуществлялись с помощью переносного газортутного анализатора АГП-01 с чувствительностью в пределах $n \cdot 10^{-12}$ – $n \cdot 10^{-14}$ с погрешностью 30 % (В. А. Лапуть, 1991). В последующем определение Hg выполнялось в лабораторных условиях в отобранных образцах породы с использованием установки возгонки Hg – УВ-1 (В. А. Лапуть, 1993).

К 1990-м гг. по данным аэромагнитной съёмки масштаба 1 : 25 000 были выявлены Жлобинское и Уваровичское поля трубок взрыва, велось выявление и изучение наземных магнитных аномалий трубчатого типа с составлением паспортов перспективных геофизических участков ПГУ-1. На выявленных трубках велось бурение с опробованием керна на алмазы. Производилась также буровая заверка перспективных участков (ПГУ-1).

При прямых поисках нефти были изучены концентрации паров Hg в почвенном воздухе в пределах Североприпятского плеча – на аномалиях углеводородных газов и на нескольких перспективных участках на поиски трубок взрыва ПГУ-1, а также на изученной трубке «Цупер» на Жлобинском поле трубок взрыва. В результате появилась возможность определения вариантов интерпретации Барченковского проявления Hg.

По результатам исследований на опытном геохимическом профиле I–I, расположенном вквосток Городокскому региональному разлому, установлена контрастная аномалия Hg в зоне разлома (рис. 2). В районе подножья Хатецкого блока, примыкающего к Городокскому разлому с юга содержание Hg в почвенном воздухе не превышает $7 \cdot 10^{-7}$ %, в районе разлома возрастает до $20 \cdot 10^{-7}$ % и составляет около $8–10 \cdot 10^{-7}$ % в гребневой части Городокской ступени. Разлом крупноамплитудный в районе профиля I–I его амплитуда составляет около 700 м [2]. По результатам исследований по программе прямых геохимических поисков залежей углеводородов В. А. Лапуть пришёл к выводу, что ртутно-биохимический показатель приобретает высокие значения над дизъюнктивными нарушениями и ослабленными нарушениями зонами, и это может свидетельствовать о естественной миграции Hg из более глубоко залегающих горизонтов. Повышение содержания Hg в зоне разломов может свидетельствовать о их проницаемости (В. А. Лапуть, 1993).

Для оценки взаимосвязи трубок взрыва с поверхностным геохимическим полем выполнены исследования трубки «Цупер», расположенной на Жлобинском поле диаметром в Жлобинском р-не в 7,5 км западнее с. Майское. Трубка изучена бурением, а в последующем выполнены дополнительные исследования различными геофизическими и геохимическими методами (В. А. Лапуть). В результате исследований установлено, что аномалии Hg чётко располагаются над контуром диатремы (рис. 3).

Следует отметить, что в период появления информации о проявлении Hg в д. Барченки геологическая изученность этого района была весьма низкой. Только в последующее время на этой территории стали проводиться исследования в связи с поисками трубок взрыва и глубинным картированием; существенным дополнением к этому являются свежие опубликованные материалы [2] с картой тектонического районирования юго-восточной части Беларуси по поверхности фундамента (рис. 4). По этим данным ртутное проявление располагается в Присновском блоке, ограниченном с юга Южно-Присновским нарушением амплитудой 50–200 м (16), а с запада ограничивается Чечерским разломом (15) амплитудой до 150–200 м. В преде-

лах Присновского блока глубина залегания фундамента составляет 550–600 м. Д. Барченки, располагающаяся в 3 км к запад-юго-западу от д. Присно, фактически находится на названном нами Барченковском разломе (№ 16а) амплитудой ориентировочно около 50 м (рис. 4).

Факт расположения Барченковского ртутьпроявления на разломе может свидетельствовать о глубинном проявлении Hg по Барченковскому разлому, либо по располагающемуся в 4,5 км к северу древнему глубинному суперрегиональному Пержанско-Суражскому разлому (рис. 4). Не исключена связь ртутьпроявления с выделявшимся ранее на этой территории Одесско-Гомельским суперрегиональным разломом [3]. Вполне возможно также предположение о том, что ртутьпроявление связано с погребённой немагнитной диатремой.

На ПГУ-1 № 68, 69 и 71 к северо-западу от г. Гомеля (рис. 4) в почве установлены концентрации Hg, на порядок превышающие концентрации, выявленные на диатреме «Цупер». Это может указывать на наличие в пределах этих ПГУ активных разломов или трубок взрыва.

Таким образом, приведённые выше данные по ртутьметрическим измерениям в породах Североприпятского плеча свидетельствуют о том, что естественные проявления Hg в поверхностных условиях могут свидетельствовать либо о нахождении участка в районе тектонического нарушения, либо о том, что на глубине располагается трубка взрыва.

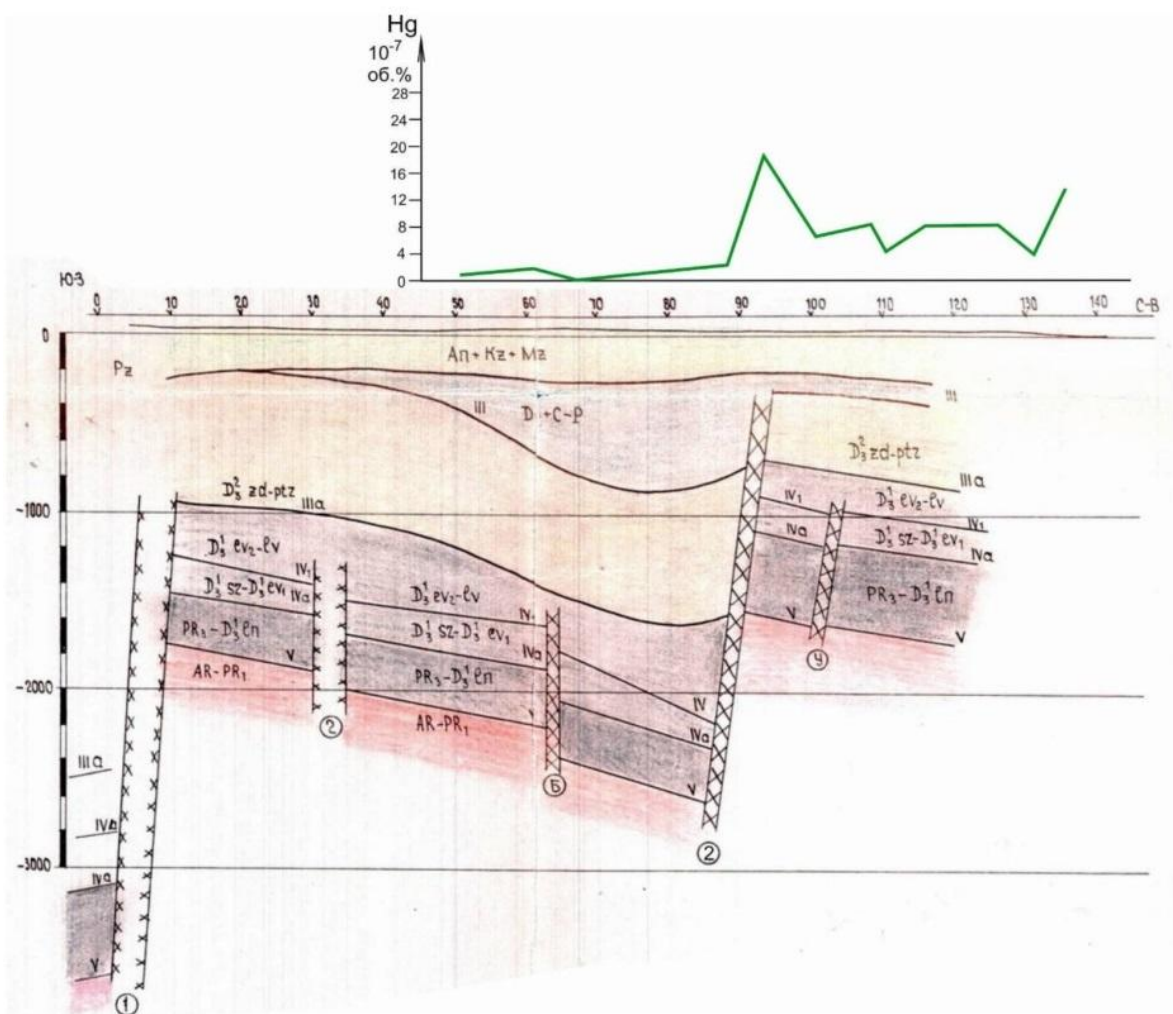


Рисунок 2 – Аномалии Hg в почвенном воздухе по профилю I-I над Городокским разломом Североприпятского плеча (по В. А. Лапутю, 1993)

Разломы ступенеобразующие 1 – Северо-Припятский; 2 – Городокский; Б, У, Г – разломы зональные.

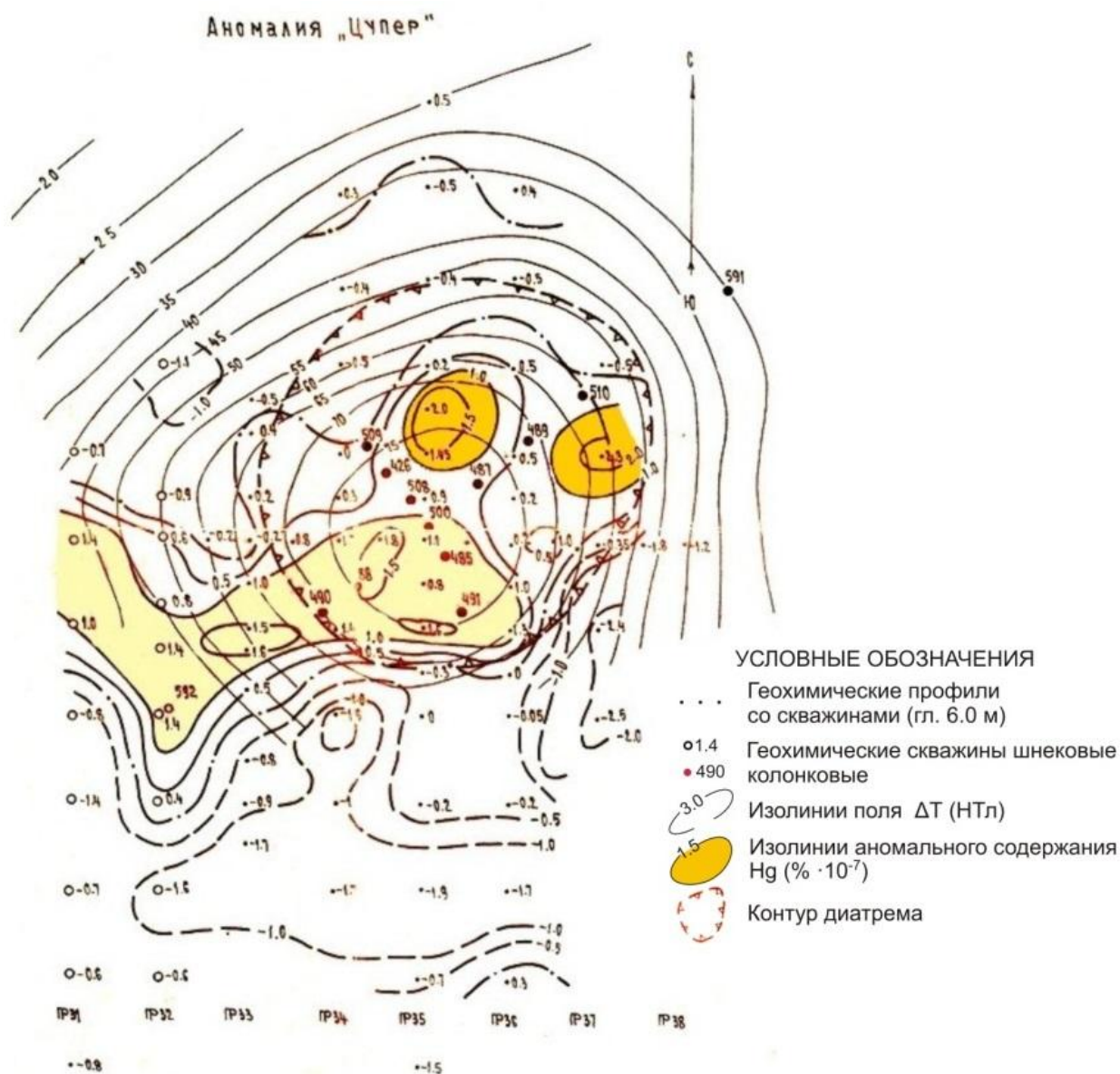
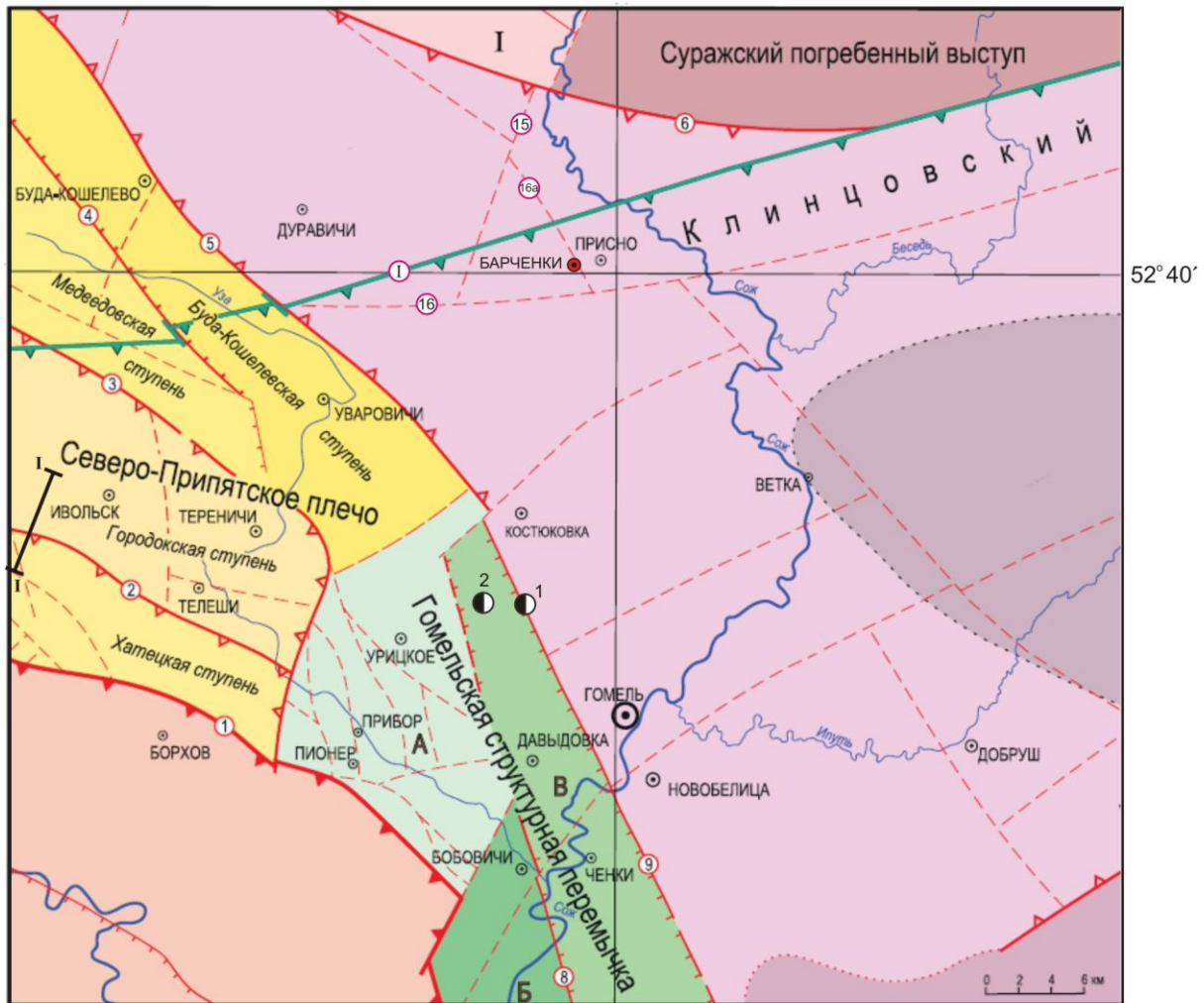


Рисунок 3 – Площадное распределение паров Hg в антропогенных отложениях (5,5–6,0 м) над трубой «Цупер» (составили В. А. Лапуть и В. И. Колдыбин, 1993)

Выводы. Проявление Hg в д. Барченки Ветковского р-на представляется имеющим природное происхождение и связано с расположением населённого пункта над тектоническим нарушением, по которому возможна эманация глубинных паров Hg с конденсированием их в поверхностных условиях в виде металлических шариков. Возможным вариантом представляется также расположение в разрезе осадочного чехла немагнитной погребённой диатремы, сопровождающейся эманациями Hg. Представляется целесообразным в дальнейшем выполнить геолого-геофизическое и геохимическое обследование территории. Проявление аномалий Hg над магнитными аномалиями ПГУ № 68, 69 и 71, подобных проявлению Hg над диатремой «Цупер», подтверждает их общую перспективность и необходимость геологического изучения бурением.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Рисунок 4 – Карта распределения объектов с аномалиями Hg в районе Гомельской структурной перемычки и Североприпятского плеча (составили Я. Г. Грибик, А. В. Беляшов (2019) на основе карты

тектонического районирования юго-восточной части Беларуси по поверхности фундамента [2])

I, 1–3 – разломы: I – глубинный суперрегиональный Пержанско-Суражский, 1 – Североприпятский суперрегиональный, 2 – региональные, 3 – субрегиональный (а), локальный (б); разломы и их номера: 2 – Городокский, 15 – Чечерский, 15а – Барченковский, 16 – Южно-Присновский; 4 – ртутное проявление д.Барченки; 5 – геохимический профиль над Городокским разломом; 6 – перспективный геофизический участок (ПГУ-1) с геохимической аномалией Hg (1 – № 71) (2 – № 68, 69).

Библиографические ссылки

1. Богомолов Г. В., Бондаренко Б. В., Красовский В. Ф. Геологические критерии поисков месторождений ртути в Беларуси // Докл. АН БССР. 1969. Т. XIII, № 4. С. 352–354.
2. Гарецкий Р. Г., Толстошеев В. И., Кручек С. А., Сахарук П. О., Левый М. Г. Структура поверхности кристаллического фундамента Гомельской структурной перемычки и сопредельных территорий // Літасфера. 2018. № 1 (48). С. 19–28.
3. Грибик Я. Г., Кусов Б. Р. Перспективы нефтегазоносности Североприпятского плеча // Материалы науч.-практ. конф., 4–6 окт. 2006 г. Гомель: РУП «ПО «Белоруснефть». 2007. С. 97–112.

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН НА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Д. А. Думанский

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; geo.dumanskiDA@bsu.by

В связи с эколого-геологической оценкой территории, проектированием, строительством и эксплуатацией различных ответственных сооружений следует обратить внимание на пространственное распределение активных геодинамических зон, их влияние на развитие экзогенных процессов и устойчивость породных массивов. В пределах таких участков необходимо с наибольшей степенью детальности проводить структурное дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли в комплексе с геолого-геофизическими материалами, осуществлять бурение скважин и отбор проб горных пород для определения их физико-механических свойств.

Ключевые слова: геодинамические зоны; эколого-геологические условия.

В настоящее время в мировой практике реализации стратегии устойчивого развития регионов важную роль играет оценка состояния и эволюции геологической среды под воздействием техногенеза. При этом особую актуальность приобретает изучение закономерностей пространственного размещения активных геодинамических зон (АГЗ) земной коры как одного из ведущих факторов формирования эколого-геологических условий [1–4].

Анализ АГЗ имеет первостепенное значение при эколого-геологическом обосновании и разработке комплекса природоохранных рекомендаций с целью оптимизации проектных инженерно-геологических решений для строительства горно-технических объектов, трасс нефте- и газопроводов, транспортных коммуникаций и других ответственных сооружений. Выбор наиболее устойчивых площадей и участков для строительства объектов должен базироваться на всесторонней эколого-геодинамической оценке территории.

АГЗ земной коры, оказывающие воздействие на эколого-геологическую обстановку обусловлены тектоническими напряжениями, вызванными внутренними силами Земли и проявлениями ротационно-планетарных процессов. АГЗ представляют собой системы разломов и зоны повышенной трещиноватости платформенного чехла и консолидированной части земной коры, активные на неотектоническом этапе – от позднего олигоцена (около 30 млн л. н.) до настоящего времени.

На территории Беларуси, расположенной на западе Восточно-Европейской платформы, закономерности пространственной организации АГЗ земной коры устанавливаются на основе комплексной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геолого-геофизической информации. Оперативная космическая информации, получаемая со спутников, позволят выполнять различные задачи, связанные с мониторингом АГЗ [1].

При картировании АГЗ выполняется структурное дешифрирование космоснимков (КС) на основе геоинформационного и специального программного обеспечения для обработки данных ДЗЗ.

Дешифрируемые на КС в виде систем линеаментов проявления АГЗ выражаются в рельефе земной поверхности и литолого-генетических комплексах четвертичных отложений. Индикаторами АГЗ являются линейно ориентированные фрагменты речных долин, их резкая асимметрия, сгущённая параллельная ориентировка в плане русел рек, прямолинейные очертания тыловых швов террас, приуроченность озёрно-болотных низин и котловин, ледниковых ложбин, гляциодислокаций складчато-чешуйчатого типа к определённым линиям, смена интенсивности экзогенных процессов, линейная конфигурация геологических границ и измене-

ния мощности различных горизонтов покровных отложений. Значительная протяжённость дешифрируемых линеаментов и их отражение в различных сочетаниях геоиндикаторов свидетельствует о достоверности выделенных на КС АГЗ.

Комплексирование данных ДЗЗ и геолого-геофизических материалов позволяют определить соотношение АГЗ с особенностями разломной тектоники и их положение в пределах основных структурных подразделений платформенного чехла и консолидированной части земной коры. АГЗ подчеркиваются сгущением изолиний по поверхности кристаллического фундамента и маркирующим горизонтам чехла, системами коленообразных изгибов изолиний по этим горизонтам, расположенностью к участкам с аномальными мощностями осадочных образований. При комплексной интерпретации материалов магнито-, грави- и сейсморазведки обращается внимание на приуроченность АГЗ к осям линейных аномалий и резким закономерным сдвигам физических полей, что позволяет отождествить их с разрывными нарушениями. В АГЗ отмечаются высокие значения и контрастность современных вертикальных движений земной поверхности, а также проявления сейсмических процессов [1].

АГЗ оказывают влияние на эколого-геологическую обстановку территории и способствуют интенсивному развитию водной эрозии, карстовых и суффозионных явлений, образованию оползней и иных экзогенных процессов.

В АГЗ активизируются также техногенные процессы, вызванные смещением массивов горных пород при освоении месторождений полезных ископаемых, нарушением естественного режима гидросферы в результате отбора подземных вод групповыми водозаборами и проведения осушительной мелиорации земель и т. п.

Современная активизация АГЗ, вызванная тектоническими напряжениями особенно в местах пересечения активных разломов, оказывает неблагоприятное воздействие на эколого-геологическую обстановку. При этом возникают деформации инженерных сооружений, происходят нарушения в асфальтовых покрытиях автомобильных дорог в виде его пучения, искривления и появления трещин, отмечаются аварии магистральных нефте- и газопроводов и другие негативные явления.

В связи с эколого-геологической оценкой территории, проектированием, строительством и эксплуатацией различных ответственных сооружений следует обратить внимание на пространственное распределение АГЗ, их влияние на развитие экзогенных процессов и устойчивость породных массивов. В пределах таких участков необходимо с наибольшей степенью детальности проводить структурное дешифрирование данных ДЗЗ в комплексе с геолого-геофизическими материалами, осуществлять бурение скважин и отбор проб горных пород для определения их физико-механических свойств.

Библиографические ссылки

1. Губин В.Н. Сейсмоактивные геодинамические зоны Старобинского месторождения калийных солей по данным дистанционного зондирования Земли // Геоматика. 2015. № 3. С. 56–62.
2. Копылов И. С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международ. журн. приклад. и фундамент. исслед. 2014. № 7. С. 67–71.
3. Ревзон А. Л. Аэрокосмические методы оценки опасности зон тектонических разломов при создании и эксплуатации транспортных сооружений // Транспорт. стр-во. 1998. № 11. С. 8–10.
4. Гуляев А. Н., Дружинин В. С., Дёмина А. Ю., Гладышева Р. М., Осипов В. Ю., Косолюпов А. А. Современные активные зоны нарушения сплошности верхней части земной коры на территории Екатеринбурга // Инженер. геология. 2008. № 1. С. 13–16.

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАССОЛОВ В ЗОНЕ КОНТАКТА С МАТЕРИАЛАМИ КРЕПИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ НА ПЕТРИКОВСКОМ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

К. Ю. Балашов¹, Е. Г. Воробина¹, В. А. Панасенко¹, А. М. Голод²

¹ОАО «Белгорхимпром», пр. Машерова 17, 220029 Минск, Республика Беларусь; kbalashev@mail.ru

²ОАО «Беларуськалий», ул. Коржа 5, 223710 Солигорск, Республика Беларусь

Проведено изучение изменения химического состава рассолов в зоне контакта с материалами крепи шахтных стволов на Петриковском горно-обогатительном комплексе.

Ключевые слова: рассолы; крепи шахтных стволов; Петриковский горно-обогатительный комплекс.

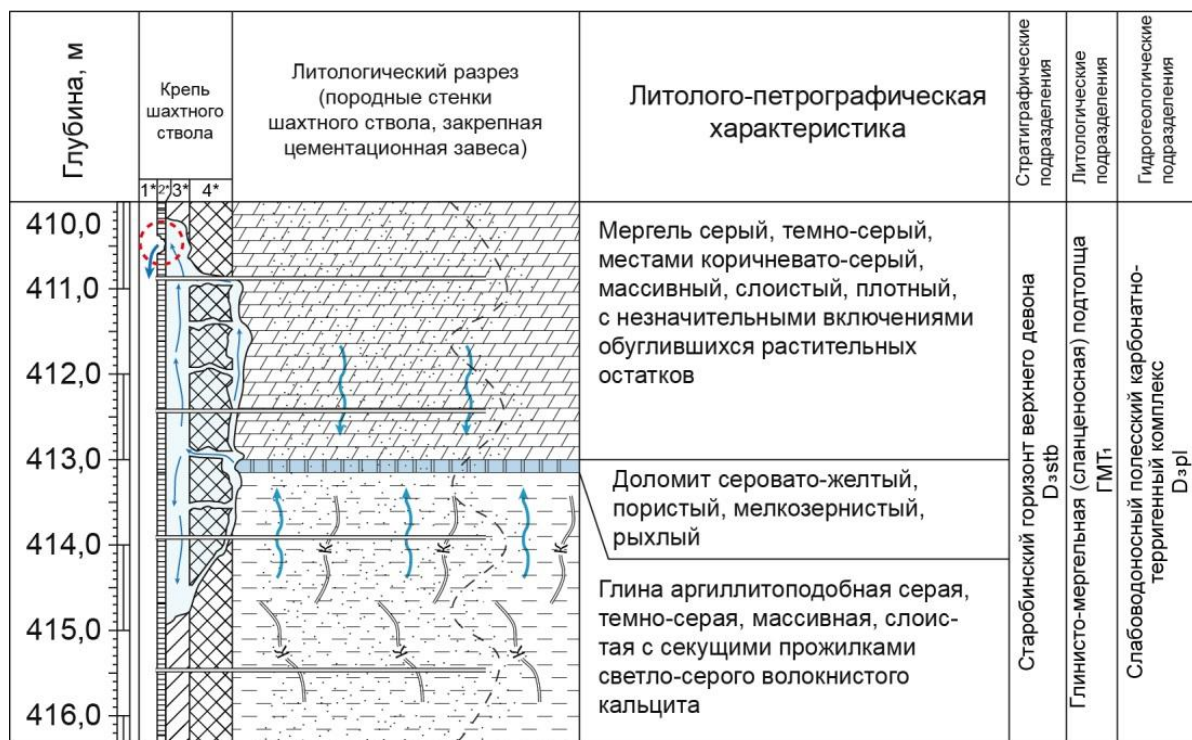
Целью работы было изучение изменения химического состава рассолов в зоне контакта с материалами крепи шахтных стволов на Петриковском горно-обогатительном комплексе. Актуальность и практическая значимость работы заключается в том, что проведение данного комплекса исследований направлено на изучение возможности перетоков между вышележающими водоносными горизонтами зоны активного водообмена и нижележащими слабо- и водоупорными комплексами по закрепному пространству шахтных стволов, и, как результат этого, – выдача заключения о надёжности эксплуатации шахтных стволов на Петриковском горно-обогатительном комплексе.

Материалы и методы исследований. Поставленные задачи были решены следующим комплексом методов исследований: 1. Выполнено обследование и документация породных стенок шахтных стволов; 2. Выполнен отбор проб подземных вод и рассолов; 3. Выполнено изучение химического состава подземных вод и рассолов. Комплекс работ выполнен сотрудниками НИГЭО ОАО «Белгорхимпром», Дирекции строящегося Петриковского ГОК ОАО «Беларуськалий» и ЦЛ ОАО «Беларуськалий».

Результаты исследований. При проведении горнопроходческих работ в шахтном стволе № 1 (скиповом) Петриковского ГОК в промежутке гл. 413,00–413,15 м, а так же в шахтном стволе № 2 (клетевом) в промежутке гл. 406,00–406,10 м был вскрыт обводнённый интервал, сложенный доломитом, мощностью до 0,15 м, положение в разрезе и характеристика которого показана на рис.

Наличие в породе сети извилистых пор способствует её высокой проницаемости, обуславливает хорошие фильтрационные, коллекторские и ёмкостные свойства. Вероятнее всего, обводнённость связана с поступлением отжимных поровых вод из выше- и нижезалегающих аргиллитоподобных глин и мергелей, в пользу чего говорит тот факт, что химические составы поровых вод и рассолов обводнённого интервала аналогичны [1]. Значение величины рассолопритока из обводнённого интервала составляло в среднем 2,5 м³/ч. В целом химический состав «природных» рассолов следующий (табл.): рассол слабый, хлоридный натриевый, слабощелочной [2]. Минерализация изменяется от 53,8 до 58,4 г/дм³. Величина рН изменяется от 6,9 до 9,2.

После того, как обводнённый интервал был пройден, породные стенки шахтного ствола были перекрыты крепью, показанной на рис., которая состоит из чугунных тубинговых колец, затубингового бетона, передового бетона, и создана закрепная тампонажная цементационная завеса.



Примечания: 1* - шахтный ствол, 2* - чугунная тубинговая крепь, 3* - затубинговая бетонная крепь, 4* - передовая бетонная крепь

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- направление движения отжимных поровых вод
- обводненный интервал разреза («Природный» рассол)
- направление движения потока рассолов в месте нарушения сплошности передней и затубинговой бетонной крепи шахтного ствола (из обводненного интервала в закрепное пространство)
- рассол в закрепном пространстве («Техногенный» рассол)
- место выхода рассолов в пространство шахтного ствола в месте нарушения сплошности чугунной тубинговой крепи шахтного ствола
- закрепная цементационная завеса
- тампажные шпурсы

Рисунок – Схема поступления рассолов из обводнённого интервала в месте нарушения крепи шахтного ствола № 1 (скипового) Петриковского ГОК

Таблица – Результаты химического анализа проб рассолов

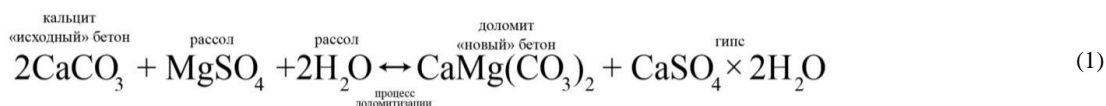
Основные химические компоненты, мг/дм ³		«Природный» рассол	«Техногенный» рассол (отобран из нарушений в крепи шахтного ствола)	«Экспериментальный» рассол (получен в лабораторных условиях)
Катионы	K ⁺	137,63	631,05	264,30
	Na ⁺	19 669,13	17 992,48	19 102,43
	Ca ²⁺	1 258,00	1 308,50	1 569,10
	Mg ²⁺	780,31	0,00	0,00
Анионы	Cl ⁻	30 720,47	26 755,30	29 753,32
	SO ₄ ²⁻	5 734,52	4 303,65	4 519,79
	HCO ₃ ⁻	40,27	1 177,63	1 501,02
	Br ⁻	13,58	13,58	0,00
pH		7,70	12,00	12,20
Минерализация, мг/дм ³		58 353,96	52 202,24	56 709,92
Формула Курлова		M _{58,4} $\frac{Cl88 SO_4 12}{Na87 Mg7 Ca6}$ pH7,7	M _{52,2} $\frac{Cl87 SO_4 10 HCO_3 2}{Na91 Ca8 K2}$ pH12,0	M _{56,7} $\frac{Cl88 SO_4 9 HCO_3 3}{Na91 Ca9 K1}$ pH12,2

Позднее были выявлены нарушения (трещины) целостности крепи шахтного ствола на гл. 410,6 м, через которые поступали «техногенные» рассолы, со значением среднего дебита 0,27 м³/ч и химическим составом, приведённым в табл. В целом химический состав рассолов следующий: рассол слабый, хлоридный натриевый, весьма щелочной [2]. Минерализация изменяется от 52,2 до 56,6 г/дм³. Величина водородного показателя изменяется от 9,9 до 12,0.

Как видно из табл., по некоторым из химических компонентов состав рассола изменился значительно, а именно в разы изменилась концентрация ионов Mg, HCO₃⁻ и значение pH, что связано, как показали исследования, с взаимодействием рассолов с материалами крепи шахтного ствола, а не с перетоками по закрепному пространству подземных вод из вышележащих водоносных горизонтов зоны активного водообмена.

Резкое увеличение содержания HCO₃⁻ до 1 177,63 мг/дм³ в «техногенных» рассолах и увеличение значения кислотно-щелочного баланса pH до 12 объясняется продолжительным взаимодействием цемента и бетона с «природными» рассолами. В результате этого продолжительного взаимодействия при застойном режиме на контакте с крепью в рассолах нарушается карбонатное равновесие, вследствие чего происходит резкое увеличение значений pH и закономерное увеличение содержания HCO₃⁻ (если быть точным, то при таких больших значениях pH в рассоле содержится не HCO₃⁻, а CO₃²⁻).

Резкое уменьшение содержания ионов магния до его полного отсутствия вероятнее всего связано с протеканием процесса доломитизации, а именно при взаимодействии карбонатных горных пород (в нашем случае ими являются материалы крепи шахтного ствола – цемент и бетон) с «природными» рассолами, содержащими соединения Mg. При их взаимодействии бетон крепи претерпевает изменения с образованием доломита (в кристаллическую решётку карбоната кальция встраивается ион Mg, в результате чего кальцит замещается на доломит). Как видно из уравнения 1 доломитизации (реакция Гайдингера), процесс напрямую связан с сульфатным типом агрессивности рассолов обводнённого интервала по отношению к бетону, т. к. в рассоле почти все ионы Mg связаны с ионами SO₄²⁻. Это один из возможных вариантов выпадения из рассола ионов Mg.

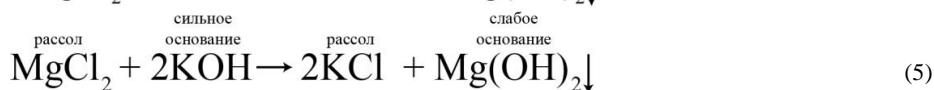
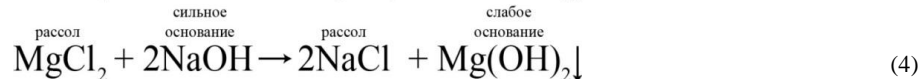
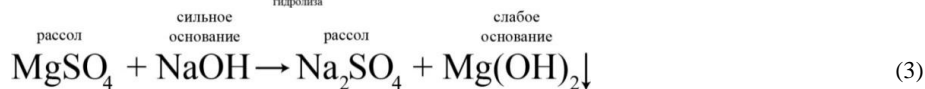
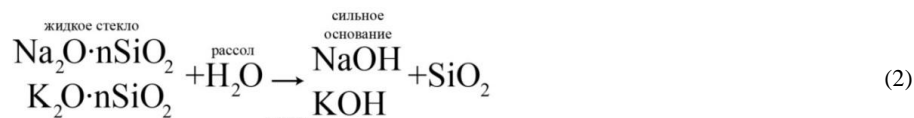


Ещё одним возможным вариантом резкого уменьшения содержания ионов магния связано с взаимодействием «природного» рассола с жидким стеклом – материалом, применяемым при тампонаже закрепного пространства. Жидкое стекло, представляющее собой водный щелочной раствор силикатов ионов Na и K, способно растворяться в воде, в результате процесса гидролиза, показанного в формуле 2, ионы Na и K образуют соединения сильных оснований. При взаимодействии растворов, в нашем случае «природного» рассола, содержащих ионы Cl с жидким стеклом образуется силикагель – вещество, для которого характерны хорошие сорбционные свойства, в результате чего происходит поглощение некоторых ионов из раствора, в нашем случае – ионы Mg. В уравнениях 3–5 показан процесс взаимодействия сильных оснований с сульфатами и хлоридами Mg, в результате чего происходит уменьшение концентрации ионов Mg «природного» рассола.

Следует иметь в виду и тот факт, что время отбора пробы прямо влияет на изменение химического состава «природного» рассола, а именно чем большее количество времени «природный» рассол контактирует с бетонными конструкциями, тем в большей степени изменяется его химический состав, и тем больше он приобретает облик «техногенного», что наблюдалось нами при продолжительных наблюдениях за изменением химического состава. Из-за длительного по времени контакта рассола с бетонными конструкциями крепи его «природный» химический состав изменился в большей степени и стал более «техногенным», не-

жели пробы рассола, отобранные спустя несколько дней. Поэтому с течением времени наблюдалось восстановление содержания ионов Mg , HCO_3^- и значения pH.

Так же необходимо отметить, что изменение значений содержания основных компонентов рассола происходит закономерно и взаимосвязано. Это прослеживается в том, что при увеличении значения общей минерализации, а также увеличении концентрации Mg^{2+} и SO_4^{2-} закономерно уменьшается значение содержания HCO_3^- и значения pH среды.



Изменение содержания иона Br и, как следствие, содержания Br-Cl коэффициента остаётся неизменным, что является прямым признаком отсутствия перетоков подземных вод из зоны активного водообмена. Этот признак является подтверждением того, что перетоков между водоносными горизонтами не происходит, а рассолы, поступающие в пространство шахтного ствола перетекают из обводнённого интервала гл. 413,00–413,15 м, расположенного в нижней части глинисто-мергельной (сланценосной) подтолщи.

С целью подтверждения теоретических предположений, детально описанных выше, проведено экспериментальное моделирование в лабораторных условиях с целью изучения воздействия и, как следствие, последующего изменения химического состава рассола при его взаимодействии с материалами крепи шахтного ствола. В лабораторных условиях в «природный» рассол были искусственно введены добавки – образцы бетона аналогичные по составу с бетоном крепи и жидкое стекло – материал, используемый при тампонаже закрепного пространства. Взаимодействие вышеназванных добавок с рассолом продолжалось в течение 4 дней. Результат взаимодействия рассола с материалами крепи отражён в табл., и характеризуется как «экспериментальный» рассол. Проанализировав данные таблицы можно с полной уверенностью утверждать о том, что вышеназванные теоретические предположения об изменении химического состава рассола при его взаимодействии с материалами крепи подтверждаются данными, полученными в ходе экспериментального лабораторного моделирования. В ходе проведённого эксперимента были получены данные о химическом составе «экспериментального» рассола, которые полностью сходны и коррелируются с данными состава «техногенного» рассола. Как и в «техногенном», так и в «экспериментальном» рассоле по сравнению с «природным» содержание HCO_3^- увеличивается от 40,27 до 1 501,03 мг/дм³, иона Mg уменьшается от 780,31 мг/дм³ до его полного отсутствия в составе; величина pH увеличивается от 7,70 до 12,2.

Выводы. Рассолы, поступающие в пространство шахтного ствола перетекают из обводнённого интервала 413,00–413,15 м, расположенного в нижней части глинисто-мергельной (сланценосной) подтолщи, при этом переток между вышелегающими водоносными горизонтами по закрепному пространству отсутствует. В целом, химический состав как «природных», так и «техногенных» рассолов остался прежним, а именно: рассол слабый, хлоридный натриевый. Изменение в содержании отдельных компонентов (Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-), значений минерализации и величины pH указывает на протекание техногенных процессов, а именно взаимодействия «природного» рассола с материалами крепи шахтных стволов с образованием

«техногенного» рассола. Содержание ионов Вг и, как следствие, Вг-С1 коэффициент остаётся неизменённым, что является признаком отсутствия поступления подземных вод и рассолов из водоносных горизонтов зоны активного водообмена. Экспериментальными лабораторными исследованиями подтверждено, что изменения химического состава «техногенных» рассолов связаны с взаимодействием материалов крепи шахтных стволов с «природными» рассолами обводнённого интервала разреза. Все вышеприведённые факты говорят о надёжности и хороших гидроизолирующих свойствах возведённой крепи шахтных стволов на Петриковском ГОК.

Финансирование. Данная статья подготовлена на основе исследований по договору № 82.2016 «Выполнить специальные инженерно-геологические и гидрогеологические исследования при проходке шахтных стволов на Петриковском ГОК» между ОАО «Белгорхимпром» и ОАО «Беларуськалий».

Авторы выражают благодарность ведущему научному сотруднику лаборатории геодинамики и палеогеографии Института природопользования НАН Беларуси В. И. Пашкевичу и ведущему научному сотруднику отдела гидрогеологии и мониторинга подземных вод филиала «Институт геологии» ГП «НПЦ по геологии» В. М. Шимановичу за консультацию при подготовке статьи.

Библиографические ссылки

1. Богомолов Г. В., Матвеева Л. И., Козлов М. Ф. Поровые растворы осадочных пород солеродных бассейнов. Минск : Наука и техника, 1980.
2. ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные, классификация по химическому составу и температуре. Отраслевой стандарт. М., 1986.

УДК 622.36:504.61

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ КАРЬЕРНЫМ СПОСОБОМ

Н. В. Козловский

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; geo.kozlovskNV@bsu.by

Рассмотрены геоэкологические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых карьерным способом

Ключевые слова: месторождение; добыча открытым способом; карьер.

Рациональное природопользование на любых территориях требует объективной и комплексной экологической оценки состояния окружающей среды (ОС). Общая оценка состояния природной среды и геологической среды, в частности, является сложной геоэкологической задачей. Сложность её заключается в слабой разработанности научно-концептуальной базы геоэкологии и недостаточном пока ещё практическом опыте в разных природно-территориальных, геолого-техногенных и ландшафтно-геохимических условиях.

В настоящее время основными задачами геоэкологии являются: выявление зависимостей добычи минерального сырья от инженерно-геологических, гидрологических и экологических особенностей различных ландшафтных районов; геоэкологическая оценка глубины и масштабов воздействия на ОС; разработка эффективных предложений по снижению негатив-

ного воздействия и рациональному использованию природных ресурсов; а также предложения по минимизации этих воздействий на ОС.

Основными видами воздействия на среду при разработке карьеров выступают: изъятие природных ресурсов (земельных, водных); загрязнение воздушного бассейна выбросами газообразных и взвешенных веществ; шумовое воздействие; изменение рельефа территории, гидрогеологических условий площадки строительства и прилегающей территории; загрязнение территории землеотвода образующимися отходами и сточными водами; изменение социальных условий жизни населения.

Разработка месторождения полезных ископаемых открытым способом оказывает негативное влияние на атмосферный воздух в результате пыле- и газообразования. Основными источниками воздействия являются выемочно-погрузочные и вскрышные работы, работы по отвалообразованию, внутренние и внешние отвалы, переэкскавация навалов породы, дорога, дробление сырья. Пыль, в зависимости от добываемого сырья, представляет собой неорганическую пыль с содержанием SiO_2 ниже 20 % – при добыче суглинков, 20–70 % – при добыче глин и песка, свыше 70% – при добыче опоки. Концентрация пыли при выемочно-погрузочных работах зависит от крепости и естественной влажности горной породы, объёма одновременно разгружаемой породы, высоты разгрузки, угла поворота экскаватора.

Завышение высоты разгрузки приводит зачастую к обрушению верхней части уступа и повышению запыленности в 1,5–5 раз. При транспортировании сырья по внутрикарьерным дорогам пылевыведение осуществляется с поверхности нагруженного в кузов автосамосвала материала и в результате взаимодействия автомобильных колес с поверхностью дороги. Интенсивность и объём пылеобразования зависят от скорости движения, грузоподъёмности автомашин, а также от типа дорожного покрытия.

При работе автомобильного транспорта и спецтехники загрязнение атмосферы в зоне влияния карьера и в самом карьере происходит при работе двигателей дорожно-строительной техники и автотранспорта, выделяющих NO_x , бензин, CO , SO_2 и сажу.

Для моделирования гипотетической ситуации среднестатистического карьера по добыче полезных ископаемых мы можем рассмотреть вариант, в котором был выбран условно максимальный карьер, с наибольшим ареалом разработки по всем видам добываемого сырья (мел, песок, глина), с максимальной нагрузкой обслуживающего автотранспорта с восьмичасовым рабочим днем, без выходных

Оценка степени загрязняющего воздействия на атмосферный воздух проводилась по самому напряжённому этапу производства работ в карьере, характеризующемуся наибольшими выбросами загрязняющих веществ. Методика оценки воздействия заключается в сравнении максимальных приземных концентраций при рассеивании загрязняющих веществ на границах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) карьера, ближайшей жилой застройки, акватории водных объектов, особо охраняемых природных территорий и лесополос с установленными нормативами ПДК воздействия на здоровье людей, объекты животного мира и растительность, рекреационные территории.

Данные результаты свидетельствуют, что при разработке карьера любого из видов добываемого сырья уровень негативного воздействия находится в рамках допустимых нормативов, а основным загрязнителем воздушной среды является специализированный автотранспорт. При работе автотранспорта основным загрязняющим веществом является NO_2 , но на границе СЗЗ его концентрация не превышает 1 ПДК, а неорганической пыли (глина, песок, мел) на границе СЗЗ – ниже 0,1 ПДК (табл.).

Анализ данных показывает, что на всех карьерах основным источником загрязнения воздушной среды является автотранспорт, обслуживающий карьер; пыль при добыче, погрузке и перевозке не оказывает существенного загрязнения. Согласно СНиП, санитарно-защитная зона карьеров составляет для мела – 500 м, песка – 300 м, глин – 300 м. Ориентировочная СЗЗ для всех карьеров с аналогичными параметрами и ниже является достаточной.

Таблица – Рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере при добыче полезных ископаемых, ПДК

Загрязняющие вещества	Карьеры					
	Глиняные		Меловые		Песчаные	
	max	СЗЗ 300 м	max	СЗЗ 500 м	max	СЗЗ 300 м
NO ₂	1,42	0,86	1,42	0,53	1,422	0,86
С	0,46	0,26	0,46	0,15	0,46	0,26
SO ₂	0,28	0,17	0,28	0,11	0,28	0,17
СО	0,14	0,09	0,14	0,05	0,14	0,09
Бенз[а]пирен	0,23	0,14	0,23	0,08	0,23	0,14
Бензин	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03
Пыль неорг., 20–70 % SiO ₂	0,004	0,001	–	–	0,005	0,001
Пыль неорг., менее 20 % SiO ₂	–	–	0,005	0,001	–	–

Воздействие на геологическую среду определяется глубиной разработки и возможными осложнениями (затопление подземными водами, развитие экзогенных процессов). Механизм отрицательного влияния малых карьеров на природную среду аналогичен влиянию вскрышных работ горнорудных предприятий, отличаясь только масштабностью. Площадь, занимаемая каждым карьером и отвалом, не превышает 5–15 га и в зависимости от места расположения оказывает иногда специфическое влияние на ОС. Горные работы приводят к активизации некоторых рельефообразующих процессов.

Дальнейшее развитие открытого способа будет также связано с отчуждением земель, как под горные отвалы, так и под отвалы. При этом необходимо учитывать, что существенным фактором, отражающим указанную тенденцию, должны быть экологические требования.

Отчуждение земель является управляемым фактором, которое может быть осуществлено за счёт применения ряда инновационных технологических, организационных и экологических решений. Основными направлениями решения проблемы снижения отчуждения земель является применение ресурсосберегающих технологий: связанных с внутренним отвалообразованием при разработке наклонных и крутых залежей, а также пологих пластов, отработываемых по углубочно-плошной системе; складирование вскрышной породы в выработанном пространстве ранее отработанных участков (карьерных полей); применение менее энергоёмкого оборудования обеспечивающего снижение затрат на перемещение вскрышных пород и снижение интенсивности изъятия земель. Резервом при изъятии земель снижение площади под внешние отвалы, за счёт размещения вскрышных пород в отработанном пространстве карьерного поля. Поэтому на основе способов размещения вскрышных пород в отвалах необходимо рассчитать параметры землепользования при разработке наклонных и крутых месторождений с учётом размещения вскрышных пород: во внутреннем и внешнем отвале; в отвале – выработанном пространстве отработанного карьерного поля.

Таким образом, теоритически можно уменьшить воздействие открытого способа добычи на ОС, при условии больших инвестиций и доступе к соответствующим технологиям. На сегодняшний день открытый способ добычи остаётся актуальным, благодаря своей дешевизне. А негативное влияние на геоэкологическую обстановку можно назвать локальным.

ГРУНТЫ г. МИНСКА И ИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К. В. Куприянюк

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; k.kostya1999@gmail.com

На конкретном материале показаны самые опасные грунты г. Минска для строительства – лёссы и лёссовидные отложения. Даются рекомендации по опасным грунтам для строительства, видам и местам проявления опасных геологических процессов на территории города.

Ключевые слова: инженерная геология; грунты; лёссы; Минск.

За всю свою 953-летнюю историю г. Минск много раз разрушался и столько же раз отстраивался. И по сей день строительство не отходит на задний план. Грунты слагают сферу взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой. Следовательно, правильность определения инженерно-геологических свойств грунтов лежит в основе качественного и долговечного строительства. На территории всё расширяющегося по площади Минска появляются «проблемные» грунты. Это – спланированные насыпные грунты, земли, переданные под строительство после ликвидации заводов, военных частей, а также охраняемых законом зон залегания «культурных» пластов.

Грунты, в частности грунты г. Минска, представляют собой любую горную породу, древнюю или молодую, почву, антропогенное образование. Главное их отличие от геологических пород состоит в том, что они вовлечены в инженерно-хозяйственную деятельность человека.

Геологическое строение территории г. Минска имеет типичное для Восточно-Европейской платформы двучленное строение – древний кристаллический фундамент и перекрывающий его платформенный чехол. Верхнюю часть кристаллического фундамента можно назвать грунтом, поскольку она используется человеком какместилище подземных вод. Водоносная зона трещиноватых архей-нижнепротерозойских пород кристаллического фундамента, согласно гидрогеологической классификации, относится к Белорусскому гидрогеологическому массиву.

Грунты платформенного чехла г. Минска представлены отложениями рифея, венда, девона, мела, локально неогена, и четвертичной системы [3]. Грунты самой верхней части платформенного чехла, т. е. отложений четвертичной системы в максимальной степени входят в сферу инженерно-геологических изысканий. Отложения четвертичной системы представлены нескальными дисперсными грунтами: песчаными (различные фракции) и глинистыми – супеси, суглинки (преимущественно моренные, а также лёссы и лёссовидные супеси), органогенными отложениями и торфом. Данные грунты при достаточных прочностных и деформационных характеристиках в естественном залегании являются основанием (фундаментом) для зданий и сооружений. Самые слабые грунты – лёссы и лёссовидные супеси. Их использование в инженерно-геологических целях должно быть ограничено, поскольку при намокании они приобретают тиксотропные свойства, что негативно сказывается на устойчивости сооружений. На рис. демонстрируются лёссы (в верхней части) и лёссовидные супеси (в нижней части) в микрорайоне Малиновка, как грунты наименее благоприятные для строительства крупных зданий и сооружений. Биогенные грунты (в частности заторфованные супеси, суглинки, пески) также не рекомендуется использовать как основания для зданий и сооружений.



Рисунок – Лёссы, лёссовидные супеси и суглинки на территории г. Минска, в микрорайоне Малиновка (фото автора)

На территории современного г. Минска очень широко распространены техногенные образования. Они характеризуются агрессивными свойствами к бетону, неоднородным сложением и составом, что негативно сказывается на их прочностных свойствах. К тому же они часто загрязнены солями тяжёлых металлов, нефтепродуктами.

Грунты на территории г. Минска подвержены опасным геологическим процессам. Площадь таких грунтов составляет около третьей части нашей столицы. Основную угрозу градостроительству образуют склоновая эрозия и плоскостной смыв, подтопление и заболачивание, оврагообразование (табл.).

Склоновая эрозия локализуется и активно протекает преимущественно на пахотных землях у западных, юго-западных, южных и северных районах г. Минска и на незадернованных склонах речных долин. Интенсивность проявления склоновой эрозии по данным [2] составляет 51,3 % (табл.). На участках выровненного рельефа склоновая эрозия минимальная или отсутствует.

Плоскостной смыв проявляется в верхних частях незадернованных склонов крутизной 3–5° и более и может достигать 4 мм/год [1]. Он приводит к удалению верхнего слоя почвы. Смыв наиболее активен на стройплощадках в районах новостроек, на различных насыпях. Здесь при незначительном развитии задернованности или её отсутствии величина смыва может возрастать в 10–40 раз.

Подтоплению и заболачиванию подвержено почти 8 % территории города. Подтопление наиболее интенсивно развито у пос. Ждановичи, в микрорайонах Веснянка, Центральный и Чижовка из-за наличия здесь крупных водохранилищ. Заболачивание происходит по окраинам города: у д. Ржавец и пос. Ждановичи в понижениях зандровой равнины; в ложбинах и котловинах севернее микрорайона Зелёный Луг; в Уручье, у пос. Кунцевщина, Масюковщина; в долинах р. Свислочи и её притоков.

На овражную эрозию приходится около 3 % территории Минска. Наибольшие плотность и густота овражно-балочной сети характерны для западных районов города. К ним относятся: Масюковщина, Запад-3, Кунцевщина, Красный Бор и Сухарево, а также юго-западные и южные районы г. Минска (Малиновка, Курасовщина и Сеница).

Таблица – Структура опасных геологических процессов на территории г. Минска в границах перспективной городской черты [2]

Процесс	Степень опасности в масштабах города	Интенсивность проявления, %
Овражная эрозия	Опасная	11,0
Склоновая эрозия и аккумуляция	Умеренно опасная	51,3
Суффозия	Опасная	0,45
Подтопление и заболачивание	Опасная	36,0
Речная эрозия, переработка берегов водохранилищ, оползни, обвалы, осыпи	В разной степени опасные	1,25

Библиографические ссылки

1. Галкин А. Н., Матвеев А. В., Жогло В. Г. Инженерная геология Беларуси. Основные особенности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий и история их формирования: монография. Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2006.
2. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск : Беларусь. наука, 2013.
3. Комаровский М. Е. Полевая геологическая практика на Минском полигоне: учеб.-метод. пособие. Минск, 2008.

УДК 550.8:551.31(476)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТА: «УЗЕЛ ПОДАЧИ И ФАСОВКИ УДОБРЕНИЙ В КОНТЕЙНЕРЫ В ЦССМУ» НА ТЕРРИТОРИИ г. ГОМЕЛЬ

И. С. Ющенко

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
ул. Советская 104, 246019 Гомель, Республика Беларусь; rengm_2016@mail.ru

Приведены результаты инженерно-геологических изысканий на территории размещения узла подачи и фасовки удобрений в контейнеры в цехе сложно-смешанных минеральных удобрений в пределах ОАО «Гомельский химический завод». Детально рассмотрены инженерно-геологические условия с учётом их изменений при строительстве и эксплуатации здания, проведена оценка инженерно-геологических условий для строительства здания на естественном основании и выделены инженерно-геологические элементы.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания; площадка изысканий; грунт; грунтовые воды; горизонт.

В современных условиях ни одно здание или сооружение не может быть спроектировано, построено и надёжно эксплуатироваться без достоверных инженерно-геологических материалов [4]. Инженерно-геологические изыскания дают геопространственную информацию для рационального выбора и оценки строительной площадки или трассы, типа основания и

способа производства работ нулевого цикла, для построения прогноза изменения природной среды и оценки рисков, связанных со строительной деятельностью человека [2, 3].

Площадка изысканий расположена на территории ОАО «Гомельский химический завод» в районе цеха сложно-смешанных минеральных удобрений (ЦССМУ). В геоморфологическом отношении площадка изысканий приурочена ко II-й надпойменной террасе р. Сож. Природный рельеф спланирован насыпным грунтом, осложнённым искусственными насыпями железнодорожного полотна, создающими препятствие для естественного стока поверхностных вод, которые скапливаются в локальных понижениях. Поверхность ровная, а абсолютные отметки изменяются от 135,67 до 136,67 м. Условия поверхностного стока ограничено благоприятные в районе скв. 3, а на остальной территории благоприятные. Неблагоприятные геологические процессы не выявлены. В геологическом строении участвуют отложения:

1. Голоценовый горизонт – современные техногенные (искусственные) образования (*thIV*), вскрытые с поверхности всеми скважинами; представлены в верхней части в районе скв. 1 и 2 асфальтовым покрытием мощностью 0,1 м, в нижней части песками пылеватыми, находящимися в маловлажном, влажном и водонасыщенном состоянии, с включением битого кирпича. Общая мощность отложений составляет 1,9–2,6 м.

2. Поозёрский горизонт – аллювиальные отложения II-й надпойменной террасы р. Сож (*a₂IIIpz*); вскрыты всеми скважинами и представлены песком пылеватым находящимся в водонасыщенном состоянии. Мощность отложений 2,1–2,8 м.

3. Днепровский – моренные отложения мозырского подгоризонта (*gIII_{d3}*); вскрыты всеми скважинами и представлены супесями пластичной консистенции с маломощными (до 0,2 м) прослоями песка водонасыщенного, с включениями гравия и гальки до 10 %. Вскрытая мощность отложений 3,9–6,2 м.

Выделение инженерно-геологических элементов (ИГЭ; рис.) проведено на основе оценки характера пространственной изменчивости физических характеристик грунтов (природная влажность, плотность, пористость, коэффициент пористости, влажность на границе текучести, влажность на границе раскатывания).

На площадке изысканий выделены следующие ИГЭ:

1. Голоценовый горизонт – техногенные (искусственные) отложения: 1.1. ИГЭ-1 – грунт насыпной (песок пылеватый);

2. Поозёрский горизонт – аллювиальные отложения II-й надпойменной террасы р. Сож: 2.1. ИГЭ-2 – песок пылеватый средней прочности; 2.2. ИГЭ-3 – песок пылеватый прочный;

3. Днепровский горизонт – моренные отложения мозырского подгоризонта: 3.1. ИГЭ-4 – супесь слабая; 3.2. ИГЭ-5 – супесь средней прочности.

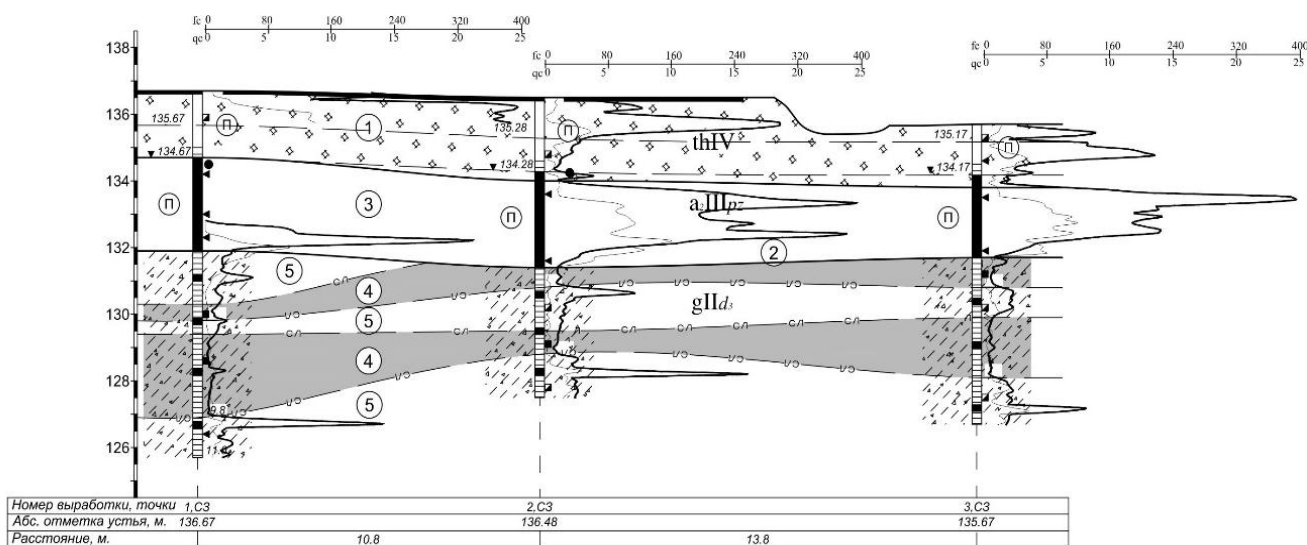
В период проведения изысканий на площадке вскрыты грунтовые воды и воды спорадического распространения, которые тесно связаны между собой и имеют единый установившийся уровень, зафиксированный на гл. 1,5–2,2 м (табл.). Грунтовые воды приурочены к насыпным грунтам (ИГЭ-1) и пескам пылеватым (ИГЭ-2,3). Воды спорадического распространения приурочены к маломощным (до 0,2 м) прослойкам песков в глинистых грунтах (ИГЭ-3,4), воды безнапорные. Максимальный прогнозируемый уровень подземных вод, во влагообильные периоды года, следует ожидать на 1 м выше зафиксированного при бурении.

Грунты по содержанию сульфатов для бетонов на портландцементе соответствуют классу среды ХА1 при воздействии на бетон марки W4 и W6 классу среды ХА0 при воздействии на бетон марки W8.

Инженерно-геологические условия для строительства на естественных основаниях ограничено благоприятны. Осложняющие факторы: неоднородность состава и плотности сложения насыпного грунта (ИГЭ-1), его большая мощность и незавершённость самоуплотнения, на части площадки (скв. 3) насыпной грунт (ИГЭ-1) залегает ниже глубины заложения фундамента; затруднённые условия поверхностного стока (район скв. 3), приводящие к неглубокому залеганию уровня подземных вод, затоплению дождевыми и талыми водами по-

нижений в рельефе; зафиксированный и прогнозируемый уровни подземных вод выше предполагаемой глубины заложения фундаментов; залегание в зоне воздействия фундаментов песка пылеватого средней прочности (ИГЭ-2), слабой супеси (ИГЭ-4), супеси средней прочности (ИГЭ-5) с низкими деформационными свойствами; агрессивные свойства подземных вод; агрессивные свойства грунтов.

Насыпной грунт (ИГЭ-1) в качестве естественного основания фундаментов не рекомендуется. С инженерно-геологических позиций можно рассмотреть варианты заглубления фундаментов в нижележащие грунты (ИГЭ-2, 3), замены насыпного грунта песчаной (гравийной) подушкой. Естественным основанием могут служить грунты ИГЭ-3. При проектировании понадобится упорядочивание поверхностного стока, в районе скв. 3 [1]. При строительстве необходимо предусмотреть антикоррозионную защиту и гидроизоляцию подземных частей здания, а также понадобится строительное водопонижение.



Условные обозначения

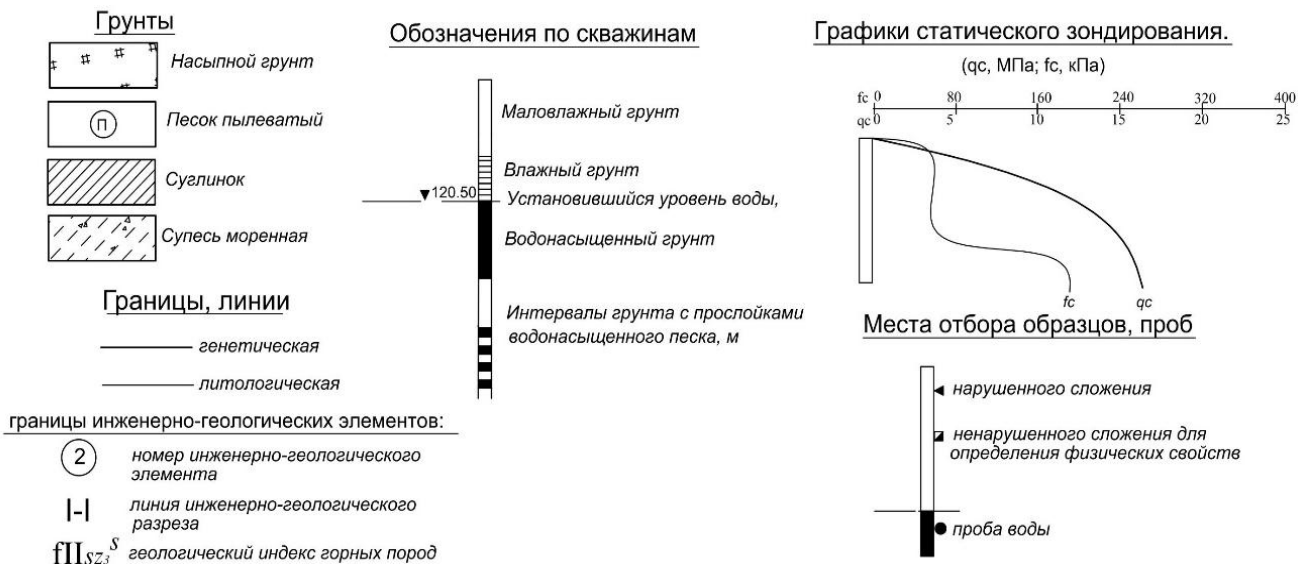


Рисунок – Инженерно-геологический разрез (составлен по материалам [1])

Таблица – Зафиксированные и прогнозируемые уровни подземных вод [1]

№ скважины	Абсолютная отметка устья скважины, м	Зафиксированный уровень грунтовых вод		Абсолютная отметка прогнозируемого уровня подземных вод, м
		Глубина, м	Абсолютная отметка, м	
1	136,67	2,0	134,67	135,67
2	136,48	2,2	134,28	135,28
3	135,67	1,5	134,17	135,17

Библиографические ссылки

1. Архив ОАО «Гомельгеосервис». Техн. отчёт по инженерно-геол. изысканиям для объекта № 82/11 ГС.
2. Захаров М. С. Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания. СПб., 2014.
3. Коркин С. Е., Коркина Е. А. Инженерно-геологические изыскания. Нижневартовск, 2015.
4. Никитенко М. И. Инженерные изыскания в строительстве. Минск : БНТУ, 2005.

УДК 553.541+665.6

ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В ЭКОНОМИКУ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. В. Цедрик

Институт экономики НАН Беларуси,
ул. Сурганова 1/2, 220072 Минск, Республика Беларусь; aleksandr.cedrik.90@mail.ru

На основании многолетних исследований горючих сланцев во всем мире и их практического применения в ряде стран сделан вывод о том, что сланцевые нефть и газ, получаемый из горючего сланца, имеют перспективы использования в Беларуси.

Ключевые слова: горючие сланцы; экономика; Беларусь.

Энергетика Республики Беларусь всегда базировалась на импортируемом высококачественном топливе. Из местных топливно-энергетических ресурсов (МТЭР) в энергетический баланс страны по сути вовлечены только нефть, торф и дрова. Нельзя не отметить тот факт, что в структуре МТЭР Беларуси более 50 % приходится на долю горючих сланцев. Горючие сланцы по своим качественным характеристикам принято считать недостаточно эффективным топливом по причине высокой зольности (более 80 %) и его низкой теплотворной способности [1].

Исходя из табл., можно сделать вывод, что основу топливной и энергетической промышленности Беларуси составляет нефть (импортируемая в основном из Российской Федерации). Из местного сырья следует традиционно отметить залежи торфа. А бурый уголь и горючий сланец не вовлечены в народнохозяйственный комплекс страны. В современных геополитических условиях, возникающих перекосах по причине заключения между странами ОПЕК в конце 2016 г. соглашения по сокращению объёмов добычи нефти, следует снова пересмотреть сценарии развития некоторых альтернативных вариантов добычи и использования группы полезных ископаемых, имеющих в своём составе полезную энергию.

В современных реалиях важны все потенциальные источники получения углеводородного сырья (УВС), также и нетрадиционные. К данной категории относятся горючие сланцы

(ГС). Мировой опыт использования позволяет их рассматривать в как источник сырья, который используется в энергетике и нефтехимическом комплексе. Ресурсы сланцев следует подвергнуть дальнейшему изучению. Они интересны для науки и промышленности в первую очередь как местное энергохимическое сырьё. Прогресс, который достигнут в технологиях добычи нефтегазового сырья, предполагает их освоение и последующее использование нефтяных сланцев в странах СНГ (Россия, Украина, Узбекистан, Беларусь) со стоимостью эквивалентной стоимости сырья на мировом рынке. Масштабное освоение ГС, включая их добычу, переработку и использование сырья, требует разработки организационно-экономического механизма, в основе которого должна быть учтена экономическая оценка данного вида ресурсов [1].

Таблица – Минерально-сырьевая база основных и потенциально разрабатываемых полезных ископаемых Республики Беларусь по состоянию на 2017 г. [2]

Полезные ископаемые	Количество месторождений, в шт.		Балансовые запасы, млн т.
	Разведанные	Разрабатываемые	
Нефть	78	54	55,6
Уголь бурый	4	–	144,9
Горючие сланцы	2	–	422,3
Торф	72	50	160,6

Если взять во внимание наличие в разных государствах имеющихся обширных ресурсов ГС, термическая переработка которых позволяет выделять сланцевую смолу в количествах, которые во много раз превышают по объёму разведанные ресурсы нефти, то для энергетического и технологического использования они особо важны и актуальны. Экологические факторы их промышленной добычи актуальны, но они говорят об обратном – сохранение природного разнообразия не является первоочередным интересом сланцевых промышленников. Промышленная добыча сланца и его дальнейшая переработка (конечно, нельзя не обойти эту проблему стороной) имеют отрицательное влияние на экологическую обстановку, а именно: водный и воздушный бассейны, ландшафт, недра, флору и фауну. Выбросы в атмосферу, формирующиеся при прямом сжигании сланца, включают в себя огромное количество оксидов серы, азота, УВ, сероводорода, фенолов и других опасных соединений. В момент использования ГС формируют отвалы пустой породы, золу и остаток полукоксования. Впоследствии отвалы отходов сланцепереработки занимают обширные площади земной поверхности. Сточные воды, стекающие из отвалов, чаще токсичны и превращаются в непригодную для питья и иного рода хозяйственной деятельности. Всё же комплекс вышеназванных факторов для экологии регионов таких факторов не позволяют считать их использование в химии и энергетике экономически неоправданным [3].

Следует заметить, что такое исследование обязательно должно быть комплексным, с учётом экономических, энергетических и экологических аспектов. Осложнения вызывает экологический фактор. В таком случае могут пострадать близлежащие территории от процесса добычи. Это может привести уже к непоправимым последствиям. Также следует отметить, что способ извлечения горючих сланцев осложнён непосредственно его способом добычи. Как отмечалось ранее, открытый способ добычи более дорогостоящий по сравнению с шахтным способом и с экологической точки зрения не оправдан. Данный вопрос требует более точных и глубоких расчётов.

В основе промышленной классификации горючих сланцев должен иметься такой подход, который позволяет выбрать наиболее рациональное направление использования такого вида твёрдых горючих ископаемых [4]. Имеющаяся на сегодня практика освоения запасов данного вида полезных ископаемых может быть условно разделена на основные направления его использования: энергетическое – добыча и сжигание как котельное топливо; эверготехнологи-

ческое – добыча и использование в качестве сырья для производства цемента с попутным получением энергии; энергохимическое – переработка и добыча в более ценное энергетическое и химическое сырьё.

Первое направление (или сжигание в котельной) более полувека назад внедрено в Эстонии. В этой стране большая часть добываемого сланца сжигается на двух теплоэлектростанциях: Нарвской и Прибалтийской. Развитие данного направления, вероятнее всего, будет ограничиваться увеличением требований к производственной и экологической безопасности, которая приведёт к дестабилизации экономических показателей в сфере энергетического комплекса. В настоящее время в мире 60 % сланцев предназначены для сжигания топлива в котельных. Но при таком использовании ГС имеют серьезные недостатки – в частности, низкую теплоту сгорания и высокую зольность.

Второе направление промышленного освоения сланцев развивается в тех местах, где наличие керогена в сланцевой породе достаточно немного в общем объёме и её минеральный состав способен промышленно освоить цементный клинкер достаточно высокого качества (пример – в Германии). [4]. В такой ситуации объёмы использования сланцев в качестве сырья для цементной промышленности несоизмеримы с величиной их запасов. Поэтому, основной путь развития промышленного освоения горючих сланцев заключен в способе получения энергохимического сырья высокого качества. Технологическое использование ГС основано на их свойстве в процессе нагревания выделять больше высокосортных продуктов, находящихся в жидком и газообразном состояниях, чем любое топливо, имеющееся на сегодня [5].

Суть третьего направления заключена в переработке горючих сланцев в ценное энергетическое и химическое сырьё. Важно отметить существующие и перспективные технологии, применяемые для промышленной добычи и переработки горючих сланцев в сырьё для последующего их применения в ряде отраслей для стран СНГ [6]. Термохимические реакции, которые протекают при их нагревании, чаще всего, обладают положительным тепловым балансом (начиная с некоторой температуры начального подогрева), в результате в реакции участвует всё большее количество вещества исходного продукта, заканчивая его полным использованием [5].

Исследуемый вид полезного ископаемого имеет такие особенности: получаемый сланцевый газ в подавляющих случаях должен быть использован на месте добычи по причине того, что перемещения на большие расстояния делают нерентабельным и логистические издержки обладают высокими затратами. Также немаловажной особенностью его достаточно невысокой рентабельности можно объяснить, что газсланцевые бассейны занимают значительные по площади территории, которые выходят из хозоборота по причине его окончательной разработки. Это то, что принято называть экологической катастрофой [5].

Следует заметить, что такое исследование обязательно должно быть комплексным, с учётом экономических, энергетических и экологических аспектов. Осложнения вызывает экологический фактор. В таком случае могут пострадать близлежащие территории от процесса добычи. Это может привести уже к непоправимым последствиям. Также следует отметить, что способ извлечения горючих сланцев осложнён непосредственно его способом добычи. Как отмечалось ранее, открытый способ добычи более дорогостоящий по сравнению с шахтным способом и с экологической точки зрения не оправдан. Данный вопрос требует более точных и глубоких расчётов.

Естественно, к решению данной проблемы следует подходить комплексно и учитывать все стороны в момент принятия решения по развитию сланцепереработки. Используемые открытый и подземный способы разработки месторождений ГС требуют достаточно внушительных материальных и трудовых затрат. Разработка большей части месторождений нецелесообразна с экономической точки зрения, потому значительным интересом обладает способ их геотехнологической обработки на участке залегания путём подземной газификации или перегонки [7].

О государственном стимулировании. Основным элементом экономического механизма привлечения интереса компаний-недропользователей к освоению сланцевого УВС является государственная поддержка и нормативно-правовое стимулирование.

Для стимулирования привлечения инвестиций в освоение нетрадиционных и трудноизвлекаемых энергетических ресурсов следует адаптировать налог на добычу полезных ископаемых и всю систему платежей за недропользование к процессу поисков, разведки и разработки этих ресурсов. Кроме того, учитывая капиталоемкость разработки месторождений сланцевого газа, следует разработать гибкую систему налогообложения, включающую налоговые каникулы до достижения периода окупаемости инвестиций, а также ввести правовые гарантии неизменности ставки налогообложения в период окупаемости инвестиций.

Поскольку для государства важно привлечь недропользователей к освоению сланцевого УВС, то мерой государственного стимулирования может послужить обеспечение доступа недропользователей к транспортной инфраструктуре.

Одним из основных механизмов привлечения внебюджетных средств недропользователей для проведения геологоразведочных работ и обеспечения прироста запасов сланцевых УВ является лицензирование недропользования (право владельца на пользование участком недр в определённых границах, в соответствии с указанной целью, в течение установленного срока при соблюдении заранее установленных условий).

Будущее нетрадиционных ресурсов в Беларуси и их конкурентоспособность на мировом энергетическом рынке во многом зависит от того, насколько эффективно будут реализованы механизмы государственного стимулирования и вовлечения в освоение сланцевого УВС. Развитие рынка сланцевого УВС, решение экономических, нормативных и технологических проблем их изучения и освоения, способствует укреплению минерально-сырьевой базы Республике Беларусь в долгосрочной перспективе [8, С. 42].

Заключение. На основании многолетних исследований горючих сланцев во всем мире и их практического применения в ряде стран можно сделать вывод, что сланцевые нефть и газ, получаемый из горючего сланца, имеют хорошие перспективы использования, в частности в Беларуси (на примерах стран ближнего зарубежья – Украина, Польша, Эстония). Следует заметить, что такое исследование обязательно должно быть комплексным, с учётом экономических, энергетических и экологических аспектов [9].

Экономический механизм развития сланцедобывающего комплекса формируется как совокупность целей и методов государственного регулирования и стимулирования, включая финансирование государственных программ лицензирования недр, гибкой системы налогообложения, законодательного и организационно-правового обеспечения инвестиционного процесса, государственные программы формирования региональных кластеров конкурентоспособности.

Особое внимание следует уделить формированию эколого-экономическому механизму, поскольку существующий ныне механизм не способствует в полной мере повышению эколого-экономической эффективности освоения нефтяных ресурсов и не отвечает интересам деятельности предприятий. Следовательно, формирование эколого-экономического механизма эффективного освоения сланцевых УВ должно осуществляться на основе рыночных методов хозяйствования.

Библиографические ссылки

1. *Ковхута А. М.* Сланцы есть, газа нет // Газета «Рэспубліка», Вып. от 24.06.2014 г, Минск.
2. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 17.05.2018).
3. *Хрусталёва Г. К.* Минеральное сырьё. Горючие сланцы : Справ. М. : Геоинформмарк, 1997.
4. *Стрижакова Ю. А.* Развитие и совершенствование переработки горючих сланцев с получением химических продуктов и компонентов моторных топлив : дисс. ... д-ра техн. наук. Самара, 2011.

5. Использование горючих сланцев // Журн. «Всё о горном деле. Добывающая пром-сть». 2012 [Электрон. ресурс]. URL: <http://industry-portal24.ru/fiziko-himicheskaya-geotehnologiya/961-ispolzovanie-goryuchih-slancev.html> (дата обращения: 20.01.2019).

6. Зафарова А. М. Экономический механизм формирования регионального кластера конкурентоспособности по освоению сланцевых углеводородов // Экономика и современ. менеджмент: теория и практика : Сб. ст. по материалам XL Международ. науч.-практ. конф. № 8 (40). Новосибирск : СибАК, 2014. С. 96–109.

7. Проблемы и перспективы использования горючих сланцев в Украине : материалы VIII Всероссий. конф. с международ. участием «Горение твёрдого топлива», Новосибирск, 13–16 нояб. 2012 г. Новосибирск, 2012. С. 71–75.

8. Цедрик А. В. Возможность использования горючих сланцев как одного из факторов обеспечения энергетической безопасности Беларуси // Материалы Международ. конф. молодых учёных, Минск, 30 окт.–2 нояб. 2017 г. : в 2 ч. Минск : Беларус. навука, 2018. Ч. 2. С. 37–43.

9. Цедрик А. В. Минерально-сырьевая безопасность как элемент национальной стратегии устойчивого развития // Социально-эконом. география в XXI веке: регион. развитие (к 125-летию со дня рожд. А. А. Смоліча) : реф. Межвуз. респ. семинара, Минск, 17–18 нояб. 2016 г. Минск : Изд. центр БГУ, 2016. С. 166–168.

УДК 550.8:622.8(476)

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В БЕЛАРУСИ

С. А. Юдаев

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; yudarvsergei@mail.ru

Рассмотрены различные аспекты организации безопасного ведения геологоразведочных работ в Беларуси.

Ключевые слова: техника безопасности; геологоразведочные работы; Беларусь.

Основой постоянного улучшения условий и безопасности труда является комплексная механизация и автоматизация всех видов геологоразведочных работ, систематическое улучшение организации труда, постоянный рост квалификации трудящихся. Каждый геолог должен овладеть методами безопасного труда, что является важнейшим условием обеспечения безаварийной работы на производстве. В современных условиях высококвалифицированным рабочим может стать только тот, кто приобретет глубокие знания, по технике и технологии того или иного вида работ. В то же время в основе знаний правил ведения геологоразведочных работ, лежат знания основных профессиональных дисциплин. Охрана труда и техника безопасности в геологических организациях имеют исключительно большое значение в силу специфики геологоразведочных работ. Эти работы большей частью проводятся в отдаленных малообжитых районах, оторванных от культурных и промышленных центров. Практически всем видам геологоразведочных работ присуще производство их в сложных природно-климатических условиях. Особые требования к работникам геологических организаций предъявляются в полевых условиях, т. к. наряду со знаниями безопасного ведения работ они должны владеть методами ориентации на местности, способами переправ через водные преграды, обустройства лагеря и др. Постоянное развитие геологоразведочного и горнодобывающего производства требует систематического совершенствования организации работ по охране труда. В ряде учреждений республики созданы и работают специализированные лаборатории по технике безопасности, которые изучают особенности различных видов геолого-

разведочных работ и разрабатывают новые, более совершенные средства защиты, нормативные и учебные пособия по охране труда.

В Республике Беларусь осуществлены и осуществляются крупные социально-экономические мероприятия, такие как перевод рабочих и служащих на семичасовой рабочий день, введение пятидневной рабочей недели, увеличение продолжительности отпусков (в особенности это касается работающих женщин), увеличение размеров минимальной заработной платы, введение льгот для некоторых профессий и др. Во всех отраслях геологии, на предприятиях и учреждениях разрабатываются и реализуются комплексные планы улучшения условий, охраны труда и санитарно-оздоровительных мероприятий. Регулярно проводится аттестация рабочих мест, внедряется паспортизация санитарно-гигиенических условий труда на объектах работ, являющаяся основой комплексного планирования и организации работ по улучшению охраны труда на производстве. В стране ежегодно на мероприятия по улучшению условий и охраны труда расходуются значительные средства. Особое внимание обращается на реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий, комплексное решение вопросов улучшения организации труда и производства, защиту окружающей среды. Утверждены и внедряются межотраслевые требования и нормативные материалы по научной организации труда, которые должны учитываться при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий, разработке технологических процессов и оборудования, в которых первостепенное значение придаётся вопросам улучшения условий труда и безопасности трудящихся.

Непрерывно увеличивается производство машин и механизмов, приборов и аппаратуры, предназначенных для улучшения условий труда, механизации и полного устранения тяжёлых и трудоёмких операций, особенно при шахтной добыче, автоматизации производственных процессов, средств для контроля санитарно-гигиенических параметров производственной среды. Оборудование, машины, механизмы, инструменты, приборы и аппаратура, используемые при геологоразведочных работах, организация и технология производства неразрывно связаны с техникой безопасности и производственной санитарией. Внедрение новых видов оборудования и технологий ведения геологоразведочных работ создают новые производственные условия, часто в корне отличающиеся от предшествующих. Техническое перевооружение геологической отрасли и народного хозяйства, наряду с проведением комплекса организационных, экономически социальных и правовых мер, внедрением новейших средств технической безопасности и производственной санитарии, улучшением санитарно-бытового и медицинского обслуживания работающих, позволили добиться неуклонного снижения производственного травматизма и уровня профессиональных заболеваний. В последние годы полностью ликвидирован ряд тяжёлых профессиональных заболеваний, значительно сократились количество аварий и профессиональная инвалидность. Большое внимание правительство Беларуси уделяет улучшению медицинского обслуживания работающих, расширению и развитию сети санаториев, домов отдыха, профилакториев.

В организациях и на предприятиях Минприроды работа по созданию на производстве здоровых и безопасных условий труда осуществляется в соответствии с действующими документами по охране труда: «Правилами безопасности при геологоразведочных работах» и др. Вся работа по охране труда, ответственность за соблюдение законодательства о труде, действующих правил, норм безопасности и производственной санитарии возлагается на руководителей работ. Это значит, что мастера, начальники отрядов, партий, экспедиций, объединений, а также руководители министерств и управлений геологии республики, планируя и осуществляя руководство на вверенных им участках работ, строят свою деятельность таким образом, чтобы обеспечить выполнение производственных заданий при обязательном соблюдении требований безопасности. Иначе говоря, создание безопасных условий на рабочих местах является важнейшей составной частью их производственных обязанностей. В обязанности инженерно-технических работников и руководителей геологических организаций входит

обеспечение всех рабочих мест и используемого оборудования необходимыми средствами защиты, организация своевременного ремонта и замены оборудования и инструмента, соблюдение проектов работ и технологической дисциплины, обеспечение работающих спецодеждой, индивидуальными средствами защиты, медикаментами, питьевой водой и средствами пожаротушения. Они также должны своевременно подготавливать и обучать рабочих охране труда и технике безопасности, проводить инструктаж, обеспечивать работающих учебными и наглядными пособиями по охране труда и др.

Однако главная роль в создании безопасных условий на каждом рабочем месте принадлежит непосредственным исполнителям работ – руководителям рабочего звена, бурильщикам, геологам, машинистам, старшим рабочим и др. Большое значение в создании безопасных условий труда имеет укомплектование геологических организаций квалифицированными инженерно-техническими работниками. К техническому руководству буровыми, горно-разведочными, взрывными работами должны допускаться лица, имеющие законченное горнотехническое образование. Право руководства работами предоставляется лицам, закончившим высшие или средние специальные учебные заведения. К числу специалистов, имеющих право руководства (ответственного ведения) геологоразведочными работами, относятся лица, закончившие учебные заведения по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» с присвоением квалификации техника-геолога, техника-геофизика и др. Лица, закончившие обучение по указанным специальностям, имеют право руководить горными и взрывными работами только по своим специальностям. Право ответственного ведения горных, взрывных и буровых работ могут получить после обучения на курсах, создаваемых при специальных высших и средних учебных заведениях и сдачи экзаменов Государственной квалификационной комиссии, специалисты-практики, имеющие среднее образование и стаж производственной работы.

Исключительно важное значение при производстве геологоразведочных работ имеет дисциплина труда. Дисциплина труда включает понятие производственной и трудовой дисциплины. В условиях проведения геологоразведочных работ дисциплина труда в ряде случаев является решающим условием обеспечения безопасности на производстве. Борьба с нарушениями дисциплины – важная составная часть работы по созданию безопасных условий труда. Законодательство об охране труда на производстве предусматривает круг мер, обеспечивающих создание здоровых и безопасных условий труда работающих. С целью обеспечения выполнения этих мер на всех предприятиях в необходимых объемах выделяются ассигнования и материальные ресурсы. Оперативная проверка состояния техники безопасности проводится под руководством и при личном участии руководителей всех уровней – геологов, бригадиров, мастеров, начальников отрядов, партий, экспедиций. Осуществляя оперативную проверку, указанные лица принимают меры по обеспечению безопасных условий труда на объектах работ. Непосредственные руководители и исполнители работ по результатам проверок проводят все необходимые работы по устранению выявленных нарушений по технике безопасности и приведению объекта работ или отдельного рабочего места в безопасное состояние. Качество и своевременность выполнения работ по охране труда в геологических организациях контролируются службой охраны труда. Служба техники безопасности осуществляет функции внутриведомственного надзора.

Работники по охране труда, в соответствии с Указом № 240 от 2010 г., имеют право: запрещать работу на отдельных производственных участках, агрегатах, станках, в лабораториях и т. д. в условиях, опасных для жизни или здоровья работающих; отстранять от работы рабочих, обслуживающих механизмы, и взрывников, не имеющих соответствующих удостоверений; за нарушения требований по охране труда; давать руководителям и исполнителям работ предписания об устранении обнаруженных нарушений правил техники безопасности; вносить предложения руководству о привлечении к ответственности лиц, допустивших нарушение

правил безопасного ведения работ, а также об изъятии из эксплуатации оборудования и инструмента, не обеспечивающих безопасность работ.

Государственный надзор за состоянием охраны труда осуществляется специально уполномоченными государственными органами и инспекциями, не зависящими в своей деятельности от администрации подконтрольных организаций и их вышестоящих органов. Высший надзор за точным исполнением законов о труде всеми министерствами и ведомствами, предприятиями, учреждениями и организациями возложен на Генерального прокурора и подчинённых ему прокуроров. Органы прокуратуры могут давать предписания хозяйственным руководителям об устранении нарушений законодательства по охране труда, имеют право опротестовывать незаконные приказы, ставить вопрос о привлечении виновных лиц к административной или уголовной ответственности за нарушение охраны труда на предприятии. Государственный надзор за соблюдением охраны труда и правил безопасности осуществляется Департаментом по надзору за безопасным ведением работ в промышленности МЧС. Организациями, ведущими государственный надзор, являются также Госэнергонадзор, Госсаннадзор, Госпожнадзор, ГАИ МВД, Речной регистр.

Успешное выполнение геологическими организациями производственных заданий по приросту запасов при безусловном обеспечении здоровых и безопасных условий труда каждого работника геологической партии в значительной степени зависит от организации производства геологоразведочных работ. В отличие от многих других отраслей промышленности, где работы проводятся в стационарных условиях, геологоразведочные работы осуществляются в малообжитых районах страны, места проведения работ постоянно изменяются, участки работ и даже базы геологических организаций часто располагаются вдали от экономических и культурных центров. Многие виды геологических работ – геологопоисковые, геофизические, гидрогеологические, открытые горноразведочные, опробовательские и другие ведутся на открытом воздухе в течение круглого года. Это создает определённые трудности в организации труда и быта. Организация труда в геологических организациях регламентируется типовыми правилами внутреннего трудового распорядка, на основании которых разрабатываются свои ПВТР. При разработке проектов геологоразведочных работ обосновывается выделение для каждой геологоразведочной партии и отряда необходимой численности, оборудования и материалов. В планах работ уточняются объёмы и последовательность производства работ. Научно обоснованный план производства позволяет выполнять работы в кратчайшие сроки с наименьшими материальными затратами и при соблюдении правил и норм безопасности. План должен быть подкреплён людскими и материальными ресурсами. Утверждается план вышестоящей организацией и является законом в производственной деятельности.

Техническое перевооружение геологоразведочных работ – основа роста производительности труда и комплексного решения вопроса обеспечения безопасности на производстве. В последние годы на геологоразведочных работах устаревшие виды геологоразведочной техники заменяются на новые – более производительные и безопасные. Для геологосъёмочных работ используется аэрокосмическая техника, буровых – новые буровые станки типов БСК и СБА, буровые установки серии УКБ, горноразведочных – шурфопроходческие агрегаты и краны, геофизических – новые типы сейсмостанций, скважинной аппаратуры и т. д.

ДОКЛАДЫ УЧЁНЫХ БЕЛАРУСИ ПО ТЕМАТИКЕ ГПНИ «ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ЭКОЛОГИЯ» (2016–2020 гг.)

УДК 550.42:550.47(476)

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ р. СВИСЛОЧЬ–р. БЕРЕЗИНА ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Н. Д. Грищенко

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; nhrysh@gmail.com

Проанализированы особенности содержания микроэлементов (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb) в высшей водной растительности и донных отложениях на 7 ключевых участках р. Свислочь и р. Березина по данным мониторинга. Рассмотрена способность макрофитов накапливать тяжёлые металлы в концентрациях, превышающих их содержание в окружающей среде. Определены концентрации и превышения фонового содержания тяжёлых металлов (ТМ) в макрофитах и донных отложениях, выделены перечень приоритетных элементов и виды-индикаторы с высокой накопительной способностью солей ТМ.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; высшая водная растительность; макрофиты; донные отложения; река Свислочь; река Березина; мониторинг.

Сложившаяся система контроля загрязнения водоёмов базируется на анализе водной среды. Водная среда характеризуется динамичностью и неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что значительно снижает информативность получаемых данных. В настоящее время для оценки состояния водных объектов большее внимание придаётся анализу депонирующих сред – высшей водной растительности и донным осадкам. Способность высших водных растений и осадков накапливать вещества в концентрациях, превышающих значения, зафиксированные в окружающей среде, обусловила их использование в системе мониторинга и контроля состояния окружающей среды.

Представленная в статье оценка выполнена на основании комплексного обследования в 2020 г. 7 ключевых участков (КУ) мониторинга водной растительности в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь на рр. Свислочь (КУ Анусино, КУ Королищевичи, КУ Вязь) и Березина (КУ Бобруйск, КУ Светлогорск), а также на двух водохранилищах речного типа (вдхр. Заславское и Комсомольское озеро).

Анализировали видовой состав, количественное развитие и содержание химических элементов в тканях водных растений и донных отложениях озёр. Изучение растительности и отбор проб растений и грунтов проводили на профилях, заложенных перпендикулярно берегу от уреза воды к центру водного объекта до границы распространения растительности.

Сроки проведения наблюдений и отбора проб на площадках соответствовали максимальному развитию биомассы и накоплению химических веществ растениями и приходились на период цветения (июль–август). Одновременно в водной массе определяли рН, прозрачность, содержание основных ионов минерального состава и биогенных веществ.

Выполнены аналитические работы в 19 образцах растений, 7 образцах донных отложений, 7 пробах воды, отобранных на КУ. Методом спектрального анализа определяли содержание 38 химических элементов ТМ. Содержание элементов пересчитывали в величину миллиграмм вещества в килограмме массы растений или осадков (воздушно сухого веса). В каче-

стве приоритетных загрязняющих элементов определены: Ni, Cu, Pb, Zn, Ti, Cr, V, Mn, большинство из которых относится к ТМ, обладающим специфическими биогеохимическими свойствами – высокой биохимической активностью, токсичностью, канцерогенностью, тенденцией к биоконцентрированию, склонностью к гидролизу [1].

Расположение исследуемых водных объектов в зонах влияния крупных городов (Минск, Бобруйск, Светлогорск) обусловило определённые техногенные изменения. В городах и зонах их влияния поверхностные водные объекты испытывают наиболее интенсивную техногенную нагрузку, поскольку здесь сосредоточены основные источники воздействия – промышленные предприятия, системы водоснабжения и водоотведения, различные транспортные коммуникации, накопители коммунальных и промышленных отходов и др.

Одним из существенных источников загрязнения водотоков и водоёмов в пределах городов является сток дождевых и талых снеговых вод. Концентрации техногенных примесей, содержащихся в поверхностном стоке, поступающем в дождевую сеть, изменяются в широком диапазоне и зависят как от уровня благоустройства, так и от функционального назначения территории. Степень загрязнения поверхностного стока с застроенной территории близка, а по некоторым показателям значительно превышает загрязнённость хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод.

Исследуемые водные объекты характеризуются малой и очень малой прозрачностью (0,4–1,0 м). рН слабощелочной, от 7,3 на КУ Вязь до 8,8 в вдхр. Комсомольское озеро. Цветность изменяется от малой (вдхр. Заславское) до высокой (КУ Вязь р. Свислочь, р. Березина). На КУ Королищевичи отмечается резкий запах гниения, наблюдается сильное цветение воды. На КУ Вязь и КУ Анусино, КУ Светлогорск обильно развиваются нитчатые водоросли, плотно обволакивающие заросли погружённых растений. Во всех исследуемых водных объектах (кроме КУ Анусино, расположенного выше г. Минска) трансформация коснулась практически всех гидрохимических показателей, а состояние отдельных объектов можно оценить как катастрофическое (КУ Королищевичи).

Источником поступления ТМ в водные объекты являются локальные сбросы, плоскостной сток и пылегазовые выбросы промышленных предприятий, тепловых электростанций, крупных городов и автотранспорта. Анализ накопления ТМ различными видами растений показал, что высшим водным растениям свойственна избирательность в накоплении солей ТМ [2–4]. Концентрация в разных видах макрофитов зависит от химических и гидрофизических свойств водной среды, состава донных отложений, наличия источников загрязнения.

Концентрация Ni в макрофитах обследованных водных объектов колеблется от следовых количеств до 0,94 мг/кг (роголистник погружённый, КУ Анусино), что не превышает среднее фоновое значение для рек Беларуси [3].

Среднее фоновое содержание Cu в макрофитах рек составляет 2,19 мг/кг. Максимальные концентрации Cu (до 113 мг/кг) зафиксированы в погружённых растениях на КУ Королищевичи и КУ Вязь. Превышения содержания Cu в водных растениях отмечены для всех исследованных водных объектов.

Максимальное содержание Pb отмечается в подводных растениях (табл.): рдест гребенчатый, КУ Королищевичи (22,5 мг/кг); роголистник погружённый, там же (11,0 мг/кг), КУ Анусино (15,6 мг/кг), КУ Вязь (6,55 мг/кг), при средней фоновой величине 0,51 мг/кг.

Среднее фоновое содержание Zn в макрофитах рек Беларуси 8,71 мг/кг, а максимальное содержание зафиксировано в роголистнике погружённом и рдесте гребенчатом на КУ Королищевичи (314 и 225 мг/кг соответственно), что в 36 и 25 раз выше среднего значения по республике.

Наибольшее содержание Ti отмечено в роголистнике погружённом (312 мг/кг, КУ Анусино) и рдесте гребенчатом (225 мг/кг, КУ Королищевичи), при среднем фоновом содержании 5,6 мг/кг.

Среднее содержание Сг в водных растениях рек Беларуси 5,28 мг/кг. Превышение фона по данному элементу не отмечено ни в одном из отобранных образцов.

Концентрация V колеблется в фитомассе от следовых количеств до 4,68 мг/кг (роголистник погружённый, КУ Анусино), при среднем фоновом содержании 2,96 мг/кг.

Среднее фоновое содержание Mn в макрофитах рек Беларуси зафиксировано на уровне 154,0 мг/кг. Максимальное содержание этого элемента имеют погружённые виды растений (роголистник погружённый, рдест пронзеннолистный) на КУ Бобруйск и КУ Светлогорск – 1 000,0 и 714,0 мг/кг соответственно. Больше всего Mn накапливают погружённые макрофиты (табл.), причём как в загрязнённых так и не подверженных загрязнению водных объектах.

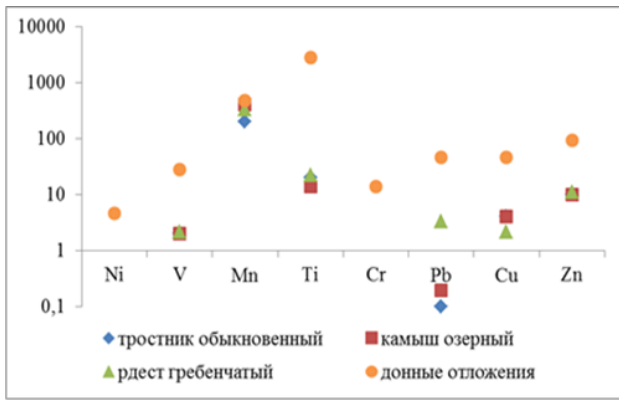
Донные отложения, служащие субстратом произрастания макрофитов, представлены в основном в литорали песками и песками заилёнными, глубже – илами опесчаненными. Содержание элементов в грунтах колеблется в широком диапазоне (табл.) и составляет: Ni – от 1,93 (вдхр. Комсомольское озеро) до 8,41 (КУ Королищевичи) (при средней величине для рек Беларуси 9,76 мг/кг [5]), для других элементов соответственно Cu – от 26,0 (КУ Светлогорск) до 126 (КУ Королищевичи) (средняя 10,8); Pb – от 27,5 (КУ Анусино) до 126 (КУ Королищевичи) (16,9); Zn – от 91,6 (КУ Анусино) до 2 523 (КУ Королищевичи) (29,7); Cr – от 4,82 (вдхр. Комсомольское озеро) до 84,1 (КУ Королищевичи) (29,5); V от 8,31 (КУ Бобруйск) до 28,3 (вдхр. Заславское) (22,0); Mn – от 472 (вдхр. Заславское) до 1 682 (КУ Королищевичи) (713); Ti – от 831 (КУ Бобруйск) до 2 832 (вдхр. Заславское) (1 515,0) мг/кг. Наиболее высокие концентрации ТМ отмечены в донных отложениях на КУ Королищевичи.

Таблица – Пределы колебания (числитель) и средние значения (знаменатель) концентрации элементов в макрофитах и донных отложениях водной экосистемы р. Свислочь–р. Березина, мг/кг

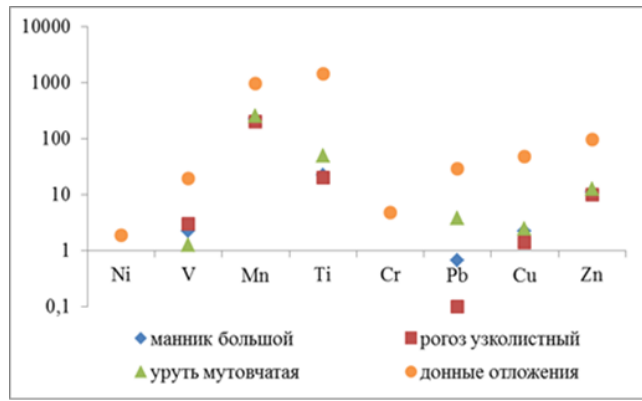
Группа формаций макрофитов	Микроэлементы							
	Ni	V	Mn	Ti	Cr	Pb	Cu	Zn
Погружённые	<u>0,00–0,94</u> 0,47	<u>1,26–4,68</u> 2,97	<u>236–1 000</u> 618	<u>22,1–312</u> 167	<u>0,00–4,68</u> 2,34	<u>1,00–22,5</u> 11,8	<u>2,21–113</u> 57,4	<u>11,1–314</u> 163
С плавающими листьями	<u>0,00–0,07</u> 0,035	<u>0,55–0,69</u> 0,62	<u>327–411</u> 369	<u>32,7–68,5</u> 50,6	<u>0,55–0,69</u> 0,62	<u>0,05–2,74</u> 1,40	<u>1,09–2,74</u> 1,92	<u>5,45–6,85</u> 6,15
Надводные	<u>0,00–0,12</u> 0,06	<u>1,88–3,68</u> 2,78	<u>134–490</u> 312	<u>13,2–73,5</u> 43,3	<u>0,00–1,23</u> 0,615	<u>0,09–1,63</u> 0,86	<u>1,17–7,35</u> 4,26	<u>9,40–12,3</u> 10,8
Средняя для рек Беларуси [3]	1,03	2,96	154,0	5,66	5,28	0,51	2,19	8,71
Донные отложения	<u>1,93–8,41</u> 5,17	<u>8,31–28,3</u> 18,3	<u>472–1 682</u> 1 077	<u>831–2 832</u> 1 832	<u>4,82–84,1</u> 44,5	<u>27,48–126</u> 76,8	<u>26,0–126</u> 76,1	<u>91,6–2 523</u> 1 307
Средняя для рек Беларуси [5]	9,76	22,0	713	1 515	29,5	16,9	10,8	29,7

Для исследованных водных объектов рассчитан индекс содержания ТМ в растениях, который представляет собой суммарное отношение величины коэффициентов концентрации элементов (мера аномальности содержания элемента в водных растениях и донных осадках относительно фона) к их числу [6]. Величина индекса близкая к 1, соответствует фоновому содержанию элементов. Величина индекса менее 0,1 характеризует очень чистые водные объекты, от 0,1 до 1,0 – чистые, от 1,01 до 2,0 – слабо загрязнённые, от 2,01 до 3,0 – умеренно загрязнённые, выше 3,0 – сильно загрязнённые. Значение индекса варьирует в пределах от 1,40 (вдхр. Заславское) до 16,30 (КУ Королищевичи р. Свислочь). Большинство КУ относится к умеренно и сильно загрязнённым.

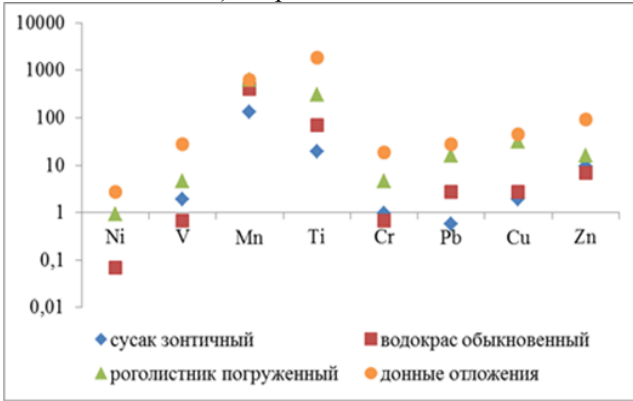
Содержание ТМ в растениях и донных отложениях исследованных водных объектов иллюстрируют диаграммы рис.



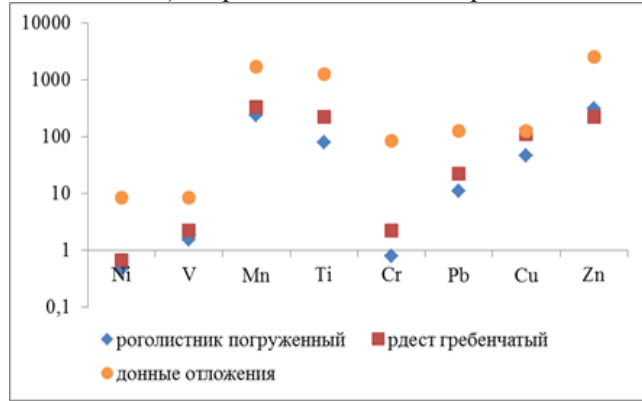
а) вдхр. Заславское



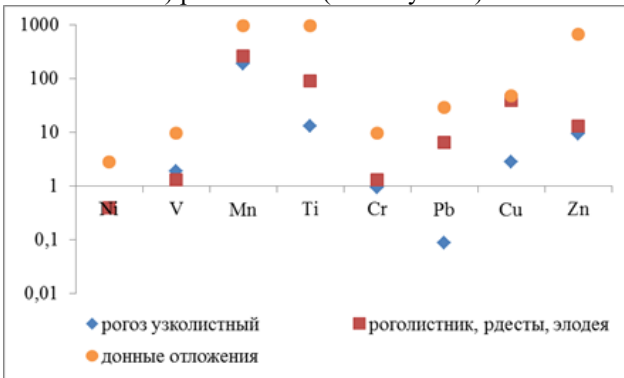
б) вдхр. Комсомольское озеро



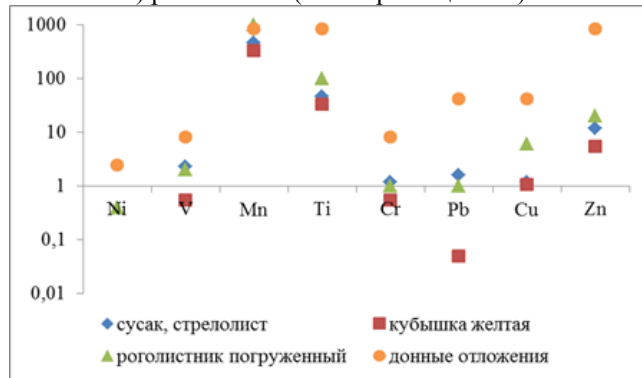
в) р. Свисloch (КУ Анусино)



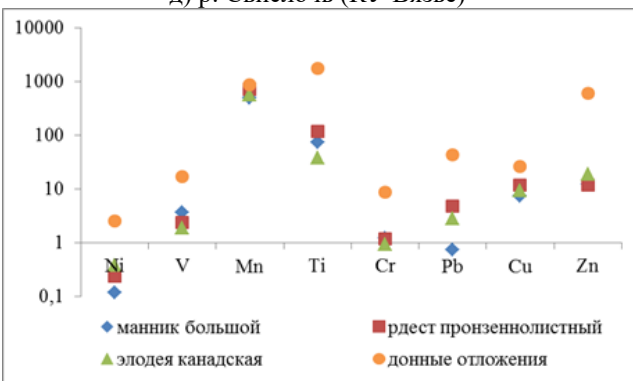
г) р. Свисloch (КУ Королищевичи)



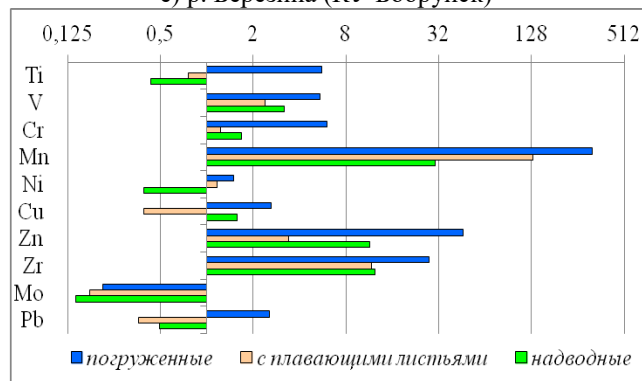
д) р. Свисloch (КУ Вязье)



е) р. Березина (КУ Бобруйск)



ж) р. Березина (КУ Светлогорск)



з) Среднее для макрофитов Беларуси [3]

Рисунок – Содержание ТМ в макрофитах и донных отложениях водной экосистемы р. Свисloch–р. Березина, мг/кг

Проведённые исследования свидетельствуют, что наилучшими индикаторами являются погружённые растения. В водных объектах в меньшей степени подверженных загрязнению содержание поллютантов в макрофитах находится на уровне фоновых величин или незначительно их превышает. Растительность на участках, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие и загрязнение, накапливает элементы в концентрациях, превышающих фоновые величины в десятки раз. Особенно высокими коэффициентами концентрации характеризуются Ti, Zn, Cu и Pb, содержание которых многократно превышает фоновые значения для территории Беларуси, наименьшими – Ni, V и Cr. По величине индекса содержания металлов в растениях заметно выделяется КУ Королищевичи р. Свислочь. Те же закономерности прослеживаются и в содержании металлов в донных отложениях. Специфика такого распределения кроется в особенностях водосборов рек и наличия источников поступления металлов, связанных главным образом с воздействием локальных техногенных источников. Расположение наиболее загрязнённых участков свидетельствует о техногенных изменениях, вызванных влиянием крупных городов, и необходимости реабилитации данных водных объектов.

Библиографические ссылки

1. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжёлые металлы в природных водах. М. : Мир, 1987.
2. Власов Б. П., Грищенко Н. Д. Содержание тяжёлых металлов в водных растениях водоёмов и водотоков Беларуси по данным мониторинга // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2011. № 3. С. 117–121.
3. Власов Б. П., Грищенко Н. Д., Рудаковский И. А., Ковальчик Н. В., Жуковская Н. В. Мониторинг водной растительности // Мониторинг раст. мира в Республике Беларусь: результаты и перспективы / Под общ. ред. А. В. Пугачевского, А. В. Судника. Минск : Беларус. навука, 2019. С. 71–99.
4. Жуковская Н. В., Власов Б. П., Ковальчик Н. В. Содержание тяжёлых металлов в высшей водной растительности водоёмов и водотоков Беларуси: пространственные и видовые особенности // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2019. № 1. С. 22–34.
5. Власов Б. П., Жуковская Н. В., Ковальчик Н. В. Содержание микроэлементов в донных отложениях водоёмов и водотоков Беларуси по данным мониторинга // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 2. С. 152–162.
6. Vlasov B., Gigevich G. Estimation of pollution of lakes of Belarus under the contents of heavy metals in water plants and bottom sediments // Limnological rev. 2006. Vol. 6. P.289–294.

УДК 550.42:504.61(476)

СОПРЯЖЁННОЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ГИДРОБИОНТОВ ОСИПОВИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

О. В. Лукашёв, Д. Л. Творонович-Севрук, Н. Г. Лукашёва

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; lukashev@bsu.by

На основе многолетних исследований дана оценка техногенного загрязнения Осиповичского водохранилища химическими элементами-металлам.

Ключевые слова: донные отложения; гидробионты; металлы; водохранилище.

Осиповичское водохранилище (далее ОсВ) – один из относительно крупных искусственных водоёмов Беларуси (табл. 1, приведены водоёмы с площадью >1,0 км²), создано в 1953 г. в Осиповичском р-не Могилёвской обл. в результате подпора плотиной Осиповичской ГЭС вод р. Свислочь на расстоянии 43,6 км от её впадения в р. Березину. Площадь водохранили-

ща – 11,87 км², длина – 23,7 км, ширина на среднем участке – 200–300 м, на нижнем – 800–1 200 м. Максимальная глубина водоёма – 8,5 м, средняя – 1,5 м. Полный объём водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ), равном 149,50 м – 17,50 млн м³ [1–3].

Таблица 1 – Основные характеристики водохранилищ Беларуси (при НПУ) [3]

Водный объект/бассейн *	Водохранилище	F, км ²	W*, млн м ³
р. Друйка/Западная Двина	Браславское	104,3	584,7/104,3
р. Виля/Нёман	Вилейское	77,0	260/235
кан. Дегтярёвка/Западная Двина	Освейское**	52,8	104/60
р. Дрысвята/Западная Двина	«Дружба народов»	44,50	313/27,4
оз. Лукомское/Западная Двина	Лукомской ГРЭС	36,7	243/26,8
р. Вята/Западная Двина	Хоробровка	31,97	128,7/27,7
р. Свислочь/Днепр	Заславльское	26,86	103/50
р. Юнга/Западная Двина	Селявское	24,5	61/3,2
р. Морочь/Припять	Краснослободское	23,65	69,5/50
р. Друть/Днепр	Чигиринское	23,4	62,6/11,9
р. Туровлянка/Западная Двина	Гомельское**	23,24	98,4/11,3
р. Случь/Припять	Солигорское	23,10	55,9/38
р. Оресса/Припять	Любанское	22,05	39,5/32,5
р. Ясельда/Припять	Селец	20,7	56,3/41,5
р. Жегулянка/Припять	Берёза-1	18,68	33,3/14,5
р. Оболь/Западная Двина	Езерищенское	17,08	65,4/11,95
р. Бобрик, оз. Погостское/Припять	Погост	16,16	54,5/44,8
р. Лань/Припять	Локтыши	15,90	50,2/30
р. Зельвянка/Нёман	Зельвенское	11,90	28/17,6
р. Свислочь/Днепр	Осиповичское	11,87	17,5/5,7
р. Улла/Западная Двина	Лепельское	10,24	74,7/20
р. Днепр/Днепр	Днепробрагинское	9,68	42,8/3,14
р. Цна, кан. Стрижевский/Припять	Велута	7,60	31/23,8
р. Рита, оз. Луково/Западный Буг	Луковское	5,40	23,2/13,9
р. Щара/Нёман	Миничи	5,40	7,5/6,0
р. Волма/Днепр	Петровичское	4,80	15/11
р. Друть/Днепр	Тетеринское	4,61	13,8/3,9
р. Птичь/Припять	Левки	4,40	23,6/16
р. Рудея/Днепр	Рудея	3,85	8,4/4,1
р. Случь/Припять	Рудня	3,76	14,1/8,8
р. Усяжа/Днепр	Дубровское	3,45	22,4/19
кан. из Вилейско-Минской вс/Днепр	Резервное	3,45	21,6/15
р. Лоша/Нёман	Лошанское	3,45	5,4/3,9
р. Переволока/Западный Буг	Беловежская Пуца	3,32	2,1/1,1
р. Ясельда/Припять	Корнадское	3,18	6,2/5,1
р. Темра/Припять	Либерполь	2,92	4,2/3,1
кан. Витчинский, р. Лань/Припять	Собельское	2,87	14,2/13,6
р. Дрысвята/Западная Двина	«Путь к коммунизму»	2,82	14,5/0,4
р. Свислочь/Днепр	Чижовское	2,80	5,6/ –
р. Вить, кан. Великоборский/Припять	Великоборское	2,70	8,9/6,9
р. Уборть/Припять	Свидное	2,16	5,7/4,6
р. Свислочь/Днепр	Дрозды	2,09	5,8/3,6
р. Двиноса/Нёман	Плещеницкое	2,04	5,4/4,1
р. Джидинье/Припять	Джидинье	2,01	7/4,3
р. Бобрик/Припять	Возрождение	1,98	9,4/7
р. Зельвянка/Нёман	Паперня	1,80	2/0,4
р. Средняя Брагинка/Припять	Муровенское	1,72	7,5/6,4
р. Вяча/Днепр	Вяча	1,68	5,1/ –

Водный объект/бассейн *	Водохранилище	F, км ²	W *, млн м ³
р. Добосна/Днепр	Добосна	1,68	1,9/1,4
кан. Днепровско-Нёманский/Припять	Оброво	1,60	7,1/5,9
р. Щара/Нёман	Домановское	1,52	1,8/0,4
р. Ошмянка/Нёман	Рачунское	1,50	2,9/1,2
кан. Ореховский/Западный Буг	Днепробугское	1,47	7,1/5,3
р. Палуж/Днепр	Палужское	1,46	2,8/1,6
р. Млынок/Припять	Княжеборское	1,44	2,3/1,9
р. Ипуть/Днепр	Милославичское	1,43	1,8/0,7
д. Быстрая/Днепр	Горы	1,31	2,3/2,2
р. Березина/Нёман	Саковщинское	1,29	1,5/–
р. Лохозва/Нёман	Гать	1,26	3,2/2,3
р. Щара/Нёман	Чемельнское	1,26	1,8/1,8
р. Нища/Западная Двина	Клястицкое	1,25	2,5/0,6
р. Мытва/Припять	Бобруйковское	1,22	1,8/1
р. Молчадь/Нёман	Гезгальское	1,21	1,2/0,2
р. Россь/Нёман	Волповское	1,18	1,7/0,1
р. Припять, кан. Невельский/Припять	Жидче	1,16	5,1/4,6
р. Черница/Западная Двина	Добромысленское	1,16	2,3/0,5
р. Крапивенка/Днепр	Крапивенка	1,08	3,3/2,9
р. Плисса/Днепр	Смолевичской ГРЭС	1,08	1,8/0,3
р. Клева/Днепр	Гореничское	1,08	1,2/1,2
р. Милянка/Нёман	Репихово	1,07	2,1/1,4
р. Лоша/Нёман	Яновское	1,06	2,3/1,4
р. Несета/Днепр	Ореховка	1,02	2,5/2,1
р. Сервечь/Нёман	Кутовщина	1,01	1,4/0,9
р. Вить/Припять	Судково	1,00	3/2

* – Объём: полный/полезный

** – Зарегулированное озеро

Водохранилище было предназначено для выработки электроэнергии на Осиповичской ГЭС, водообеспечения прудов рыбного хозяйства «Свислочь» (площадь прудов 3,82 км²), Осиповичского картонно-рубероидного завода (1969 г.), регулирования стока нижней части р. Свислочь для лесосплава и др. [1, 3].

Следует отметить, что, согласно существующей классификации [4], все ныне существующие водохранилища Беларуси в подавляющем большинстве должны быть отнесены к «малым» и «очень малым» (табл. 2). Вместе с тем, в рамках Беларуси данный водоём может классифицироваться как «небольшое водохранилище» (при объёме W и площади водного зеркала F, приведённых к НПУ: средние: W – 500–100 млн м³, F – 100–25 км²; небольшие: W – 100–10 млн м³, F – 25–3 км²; малые: W – <10 млн м³, F – <3 км² [3]).

Таблица 2 – Классификация водохранилищ по их размерам [4]

Категория водохранилищ	Площадь водного зеркала, км ²	Полный объём, млн м ³
Исключительно большие	>5 000	50 000
Очень большие	5 000–2 000	50 000–10 000
Большие	2 000–500	10 000–5 000
Средние	500–100	5 000–1 000
Малые	100–20	1 000–100
Очень малые	20–2	100–10
Исключительно малые	<2	<10

По ряду морфологических признаков в пределах Беларуси выделяются три типа водохранилищ: 1) поозёрский; 2) центральных водораздельных возвышенностей и прилегающих равнин; 3) полесский [3]. ОсВ относится ко второму типу, для которого характерны: а) вытянутая форма с приплотинным расширением; б) высокие (до 10 м) берега, отличающиеся сложным геологическим строением (флювиогляциальные, моренные и другие отложения); в) преимущественно речные водохранилища.

Место ОсВ в типологической схеме водохранилищ показано в табл. 3 (курсив).

Таблица 3 – Типология водохранилищ [4]

А. Географическое положение				
I. Расположение в широтных зонах				
1. Полярная область	2. Умеренные широты		3. Аридная область	
II. Расположение в высотных зонах				
1. Равнина	2. Плоскогорье	3. Предгорная область	4. Горная область	5. Водораздел
Б. Особенности водных объектов, на которых создаются водохранилища				
I. Величина водных объектов				
1. Малая река (озеро)	2. Средняя река (озеро)		3. Большая река (озеро)	
II. Тип водных объектов				
1. Речные	2. Озёрные	3. Озёрно-речные	4. В естественных отрицательных формах рельефа	5. В искусственных котловинах
III. Особенности режима рек и озёр				
1. Река с весенним половодьем (озеро с весенним наполнением)	2. Река с летним половодьем (озеро с летним наполнением)		3. Река с паводочным режимом (озеро, наполняемое паводочным стоком)	
В. Геоморфологические особенности и очертания в плане				
I. Положение в долинах				
1. Русловое	2. Долинное речное	3. Долинное озёрное	4. В нескольких речных долинах	5. В нескольких озёрных котловинах
II. Форма и конфигурация в плане				
1. Линейно-вытянутое простое	2. Линейно-вытянутое сложное	3. Разветвлённое (древовидное)	4. Округлое простое	5. Округлое сложное
Г. Характер использования стока и особенности эксплуатации				
I. Особенности использования стока				
1. Единичное на естественном притоке с основной реки	2. Единичное на естественном притоке с нескольких рек	3. На естественном притоке, выполняющее функцию регулятора в каскаде (верховое)	4. «Звено» каскада, расположенное ниже водёмов-регуляторов на зарегулированном стоке с основной реки	5. «Звено» каскада на зарегулированном стоке с основной реки при значительном боковом притоке
II. Характер регулирования стока				
1. Суточный	2. Недельный	3. Сезонный (годовой)	4. Многолетний	
III. Особенности реализации плана эксплуатации				
1. С постоянным планом эксплуатации			2. С изменяемым планом эксплуатации	
Д. Характер использования				
1. Комплексное использование			2. Отраслевое использование	

По соотношению морфометрических и гидрологических показателей водохранилища Беларуси подразделяются на пять гидроморфологических типов: 1) малые мелководные; 2) малые и небольшие неглубокие; 3) средние сложные (долинные); 4) среднеглубокие; 5) глубокие (озёрные и озёрно-речные) [3].

Малые мелководные водохранилища (к которым по данной классификации относится ОсВ), характерные для водораздельных областей, отличаются средними глубинами <2 м и высоким показателем удельных затоплений (>0,5 м²/м³). Соотношение глубоководной и мелководной частей ложа <1. Малые средние глубины и большое количество мелководий в сочетании с высоким показателем удельных затоплений благоприятствуют здесь развитию водной растительности, ускоряют процессы накопления органических веществ (ОВ), способствуют быстрому зарастанию ложа и деградации водоёма [3].

Форма и размеры чаши водохранилищ, величина водосбора определяют их регулируемую ёмкость и водообмен. Наименьшие величины полезной удельной (0,2–0,3) и регулирующей (0,001) ёмкости присущи ОсВ (а также Тетеринскому и Чигиринскому водохрани-

лищам), характеризующимся высокими показателями удельного водосбора и условного водообмена (табл. 4).

Средний многолетний баланс ОсВ по данным периодов 1958–1975 гг. и 1976–1980 гг. следующий (%). Приход: поверхностный приток (р. Свислочь, р. Гравка, около 10 мелких водотоков, функционирующих в период сильных дождей и половодья) – 98,8 (99,1), осадки – 1,0 (0,7), аккумуляция – 0,2 (0,2). Расход: испарение – 0,9 (0,7), потребление рыбного хозяйства 0,8 (0,6), поверхностный сток через гидроузел – 94,2 (93,3). Невязка – 4,1 (5,4) [3]. Для водохранилища характерны относительно слабовыраженные фазы уровенного режима: зимняя сработка, весеннее наполнение, летне-осенняя сработка. Обеспеченность среднего многолетнего уровня в течение года (63,9 %) и безледоставный период (66,4 %) отличаются незначительно. Уровень большинства водохранилищ суточного, недельно-суточного и сезонного регулирования в значительной степени зависит от режима работы ГЭС. ОсВ является типичным водоёмом такого типа (кривые обеспеченности свидетельствуют о плавном режиме уровня) [3].

Таблица 4 – Гидроморфологические характеристики типичных водохранилищ центральных водораздельных возвышенностей Беларуси [3]

Показатель		Вилейское	Заславское	Осиповичское	Чигиринское	Тетеринское
НПУ, м		159,00	211,10	149,50	142,50	173,50
Глубина сработки уровня, м		6,00	6,00	0,50	0,50	0,50
Объём W, млн м ³	полный	260,0	103,0	17,50	60,00	8,30
	полезный	235,00	99,50	5,80	10,30	2,00
Площадь F, км ²	при НПУ	77,00	26,86	11,90	21,20	4,54
	при УМО	13,00	3,80	9,50	20,20	3,90
Длина L при НПУ, км		26,5	9,2	23,7	17,0	9,8
Ширина B при НПУ, км	средняя	2,9	2,9	0,5	1,2	0,5
	максимальная	3,6	4,5	1,2	2,4	0,8
Глубина h при НПУ, м	средняя	3,4	3,8	1,5	2,8	1,8
	максимальная	15,0	8,0	8,5	8,1	8,8
Удельное затопление, $f_{уд} = F/W$, м ² /м ³		0,30	0,26	0,68	0,35	0,54
Соотношение $k = F_{пелагиаль}/F_{литораль}$		1,8	4,3	0,4	2,0	0,5
Площадь водосбора S, км ²		4 043	596	4 370	3 700	818
Удельный водосбор, $\Delta S = S/F$		52	22	386	175	180
Среднеголетний сток V_0 , млн м ³		975	117	790	800	171
Условный водообмен, $d = V_0/W$		3,7	1,1	45,1	13,1	20,6
Коэффициент регулирования ёмкости, $\beta = W_{полез}/V_0$		0,20	0,85	0,007	0,013	0,012
Год ввода		1975	1956	1953	1960	1955
Вид регулирования		сезон.	сезон.	сут.	сут.	сут.

Гидробиологической особенностью ОсВ является его эвтрофность (величина биомассы зообентоса 50–100 кг/га). Для периода с середины июня по сентябрь характерно массовое развитие синезелёных водорослей («цветение воды»). Фитомасса доминирующих видов макрофитов на стадии стабилизации растительности по данным 1975–1978 гг. составляла (кг сырого вещества/м²): манник водяной – 2,6–8,1, аир обыкновенный – 5,1, тростник австралийский – 1,7–6,8, рогоз широколистный – 3,6–5,9, камыш озёрный – 2,0–6,2, кубышка жёлтая – 0,3–2,5, рдест плавающий – 2,5, рдест блестящий – 0,8, рдест гребенчатый – 0,7, рдест стеблеобъемлющий – 0,9, роголистник погружённый – 4,9 [3]. Всего в составе водной раститель-

ности 52 вида. Водохранилище интенсивно зарастает водокрасом обыкновенным, стрелолистом, элодеей канадской, телорезом, рдестами, кувшинками, ряской и водорослями [5].

Общая минерализация воды ОсВ составляет 330–370 мг/л [5]. Основные элементы многолетнего годового баланса биогенных и органических веществ представлены в табл. 5. Внутригодовое распределение биогенного стока в нижнем бьефе водохранилища в основном такое же, как и на верхнем участке р. Свислочь, но абсолютные величины значительно ниже. Значительное насыщение воды кислородом в летний период создаёт благоприятные условия для развития окислительных процессов. В это время водохранилище аккумулирует 58 % поступающего NH_4 , 52 % $\text{P}_{\text{общ}}$, 63 % $\text{Fe}_{\text{общ}}$, 42 % ОВ [3]. Эколого-геохимические последствия данного явления рассматриваются далее.

Режим ОВ в нижнем бьефе гидроузла ОсВ описывается следующими уравнениями регрессии:

$$\text{BO}_{\text{нб}} = 5,58 + 0,74\text{BO}_{\text{р}}, \quad (1)$$

$$\text{ПО}_{\text{нб}} = 1,90 + 0,75\text{ПО}_{\text{р}}, \quad (2)$$

где $\text{BO}_{\text{нб}}$, $\text{ПО}_{\text{нб}}$ – среднееголетние бихроматная и перманганатная окисляемости в нижнем бьефе водохранилища за расчётный месяц рассматриваемого периода, мг $\text{O}_2/\text{л}$; $\text{BO}_{\text{р}}$, $\text{ПО}_{\text{р}}$ – соответствующие среднееголетние бихроматная и перманганатная окисляемости р. Свислочи, мг $\text{O}_2/\text{л}$. Аналогичная зависимость для внутригодового изменения содержания нитратного азота: $\text{NO}_{3\text{нб}} = 0,14 + 1,22\text{NO}_{3\text{р}}$ [3].

Следует также кратко остановиться на некоторых показателях, характеризующих влияния самого ОсВ на окружающую среду.

Развитие ложа большинства равнинных водохранилищ проходит стадии активного перестроения берегов и ложа (становление), затухания интенсивности перестроений и аккумуляции наносов в глубоководной зоне (стабилизация).

Протяжённость абразионных берегов ($L_{\text{абр}}$) ОсВ при общей длине береговой линии 55,3 км составляет 2,0 км, аккумулятивных ($L_{\text{акк}}$) – 1,8 км, отношение $L_{\text{акк}}/L_{\text{абр}} = 0,9$, что свидетельствует о стабилизации процесса формирования его береговых склонов [3].

Заиление малых водохранилищ Беларуси, как правило, происходит от верховьев к плотине. В связи с наличием в русловой ложбине гидродинамической оси, в верхней её части заиление менее интенсивно. Так, по данным 1980 г. ($n = 48$), средняя мощность донных отложений ОсВ составляла 10,4 см при вариации данных отдельных измерений от 0,03 до 80 см. В верхней части водохранилища средняя мощность отложений на ложе составляла 38,1 см, на русловой части ложа – 0,0 см, в средней части – 11,9 см и 0,0 см, в нижней части – 2,2 см и 20,0 см соответственно. Средняя скорость осадконакопления в водохранилище для расчётного периода 1960–1980 гг. – 0,51 см/год.

Из приведённых данных следует, что по мере продвижения водных масс к плотине и выравнивания скоростей течения в ложе и русловой ложбине, увеличения ветрового волнения на акватории происходит рассеивание материала и уменьшение мощности отложений. Максимальная мощность донных отложений в нижнем приплотинном районе наблюдается в русловой ложбине.

Высокая аккумулирующая способность верхней части водохранилища объясняется укрытостью водоёма, незначительным волнением и, в силу этих обстоятельств, слабо выраженной зоной взмучивания.

Мощность отложений в приплотинной части речных водохранилищ связана с проточностью водоёмов. С увеличением величины условного водообмена мощность отложений уменьшается.

Таблица 5 – Многолетний годовой баланс биогенных и органических веществ в ОсВ, т [3]

Компонент	Поступление	Сток	Аккумуляция	Аккумуляция, %
Год в целом				
N (NH ₄)	3 561	2 481	1 080	30,3
N (NO ₃)	474	666	-192	-40,5
N _{орг}	2 368	2 100	268	11,3
P (PO ₄)	160	75	85	53,1
P _{общ}	461	259	202	43,8
Fe _{общ}	1 078	667	411	38,1
ОВ	21 207	17 155	4 052	19,1
Зима				
N (NH ₄)	990	929	61	6,2
N (NO ₃)	69	87	-18	-26,1
N _{орг}	412	390	22	5,3
P (PO ₄)	38	26	12	31,6
P _{общ}	107	73	34	31,8
Fe _{общ}	260	233	27	10,4
ОВ	3 753	3 148	605	16,1
Весна				
N (NH ₄)	1 167	712	455	39,0
N (NO ₃)	220	318	-98	-44,5
N _{орг}	808	686	122	15,1
P (PO ₄)	47	23	24	51,1
P _{общ}	154	93	61	39,6
Fe _{общ}	307	255	52	16,9
ОВ	7 284	6 931	353	4,8
Лето				
N (NH ₄)	646	273	373	57,7
N (NO ₃)	108	119	-11	-10,2
N _{орг}	561	498	63	11,2
P (PO ₄)	32	10	22	68,8
P _{общ}	101	49	52	51,5
Fe _{общ}	217	80	137	63,1
ОВ	5 819	3 375	2 444	42,0
Осень				
N (NH ₄)	758	567	191	25,2
N (NO ₃)	77	142	-65	-84,4
N _{орг}	487	426	61	12,5
P (PO ₄)	44	16	28	63,6
P _{общ}	99	44	55	55,6
Fe _{общ}	214	99	115	53,7
ОВ	4 381	3 702	679	15,5

На 1980 г. (27 лет существования водохранилища) общий объём заиления составил 1,23 млн м³, средняя скорость осадконакопления – 0,0456 млн м³/год. Отсюда следует, что при полном объёме ОсВ 17,5 млн м³ период его полного заиления составляет 384 лет (к 2337 г.) [3].

Таким образом, к настоящему времени ОсВ прошло следующие две стадии своего эволюционного развития: (1) стадию возникновения новых ландшафтов, частично наследующих доминантные признаки от прежней природной обстановки (завершение стадии – пространственное расселение высшей водной растительности и формирование устойчивой структуры грунтовых комплексов – относится к концу 1970-х гг.); и (2) стадию окончательного формирования водохранилища – отработки отмелей, устойчивого закрепления мелководий высшей водной растительностью, стабильного видового состава, большой продуктивности фитоцено-

зов, чёткой выраженности геоботанических участков и поясности растительных формаций (стадия завершена или близка к завершению). Впереди у водохранилища (3) озеровидная и (4) болотная стадии [3].

При проектировании ОсВ рассматривались варианты многолетнего, сезонного и недельного регулирования стока. Для осуществления многолетнего регулирования стока при условии равномерного потребления воды турбинами ГЭС потребовалось бы создание полезной ёмкости водохранилища объёмом 196 млн м³. По этой причине окончательно был принят вариант суточного регулирования. В структуре затопленных площадей на пашню (озимая рожь) приходилось 6 %, сенокосы и выпасы – 50 %, болота – 18 %, мелколесье и кустарники – 26 % [3].

Условно-подвижные формы нахождения элементов (далее УПФ) (табл. 6, рис. 1–9). В связи с уникальным положением ОсВ (на относительно небольшой реке, принимающей стоки г. Минска), О. В. Лукашёвым с сотрудниками в различные годы (1987, 2004, 2011–2015 и др.) было проведено детальное изучение закономерностей его загрязнения рядом химических элементов-металлов.

Таблица 6 – Статистические характеристики содержания УПФ элементов в донных отложениях ОсВ, мг/кг сухого вещества (вытяжка 1 М НСl, n = 24)

Компонент	x (lim)	σ_x	s_x
ОВ, %	16,3 (2,9–42,8)	12,2	2,48
Cr	209 (4,6–598)	189	38,5
Mn	1 126 (80–3 300)	973	199
Fe, %	2,56 (0,26–5,19)	1,90	0,389
Ni	41,0 (2,1–110)	30,1	6,15
Cu	117 (1,9–321)	110	22,4
Zn	364 (16–886)	302	61,6
Cd	2,17 (<0,02–4,9)	1,71	0,350
Pb	18,3 (0,76–49)	14,9	3,05

Примечание: x (lim) – средняя (пределы колебания), σ_x – стандартное отклонение, s_x – ошибка среднего.

Статистическая обработка данных показала, что содержание УПФ всех 8-ми изученных металлов статистически достоверно связано с содержанием ОВ в пробе ($r = +0,810–944$, $p < 0,0001$, $n = 24$), вне зависимости от локализации точки опробования. Данная закономерность также подтверждается статистической зависимостью содержания *суммы* УПФ (все изученные (3); без Fe (4); только «техногенные» Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb (5)) от содержания ОВ. Соответствующие уравнения регрессии для ОсВ и примыкающих участков р. Свислочь ($p < 0,0001$, $n = 29$):

$$\Sigma Me \text{ [мг/кг]} = 596 + 1618ОВ [\%], \quad (3)$$

где $\Sigma Me = Cr + Mn + Fe + Ni + Cu + Zn + Cd + Pb$;

$$\Sigma Me \text{ [мг/кг]} = -67,5 + 121,5ОВ [\%], \quad (4)$$

где $\Sigma Me = Cr + Mn + Ni + Cu + Zn + Cd + Pb$;

$$\Sigma Me \text{ [мг/кг]} = 51,0 + 39,5ОВ [\%], \quad (5)$$

где $\Sigma Me = Cr + Ni + Cu + Zn + Cd + Pb$.

Пространственное распределение величины суммы УПФ «техногенных» Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb в донных отложениях водохранилища показано на рис. 10 – высокие значения данного показателя характерны в настоящее время для различных участков всей его акватории (верховье – тт. 1, 2, средняя часть – тт. 4, 5, 8, низовье – тт. 11–13).

Если рассматривать изменение характера речных осадков за счёт замедления стока (илы вместо песков) и параллельное накопление поступающих от г. Минска загрязнителей в качестве интегрального «геохимического эффекта», можно отметить, что, по сравнению с ниже лежащим участком р. Свислочь (д. Вязье–д. Устиж), ОсВ обуславливает обогащение донных отложений УПФ Cr в 106 раз, Mn – в 15, Fe – в 14, Ni – в 26, Cu – в 68, Zn – в 51, Cd – в 217 и Pb – в 24 раза. Даже пески (объекты с незначительной аккумуляцией УПФ элементов) Осиповичского водохранилища (тт. 6–8) обогащены этими формами по сравнению с песками р. Свислочь (д. Вязье–д. Устиж) Cr в 4,6 раза, Mn – в 2,0, Fe – в 2,2, Ni – в 2,6, Cu – в 2,8, Zn – в 4,2, Cd – в 8 и Pb – в 1,6 раза.

Таким образом, в настоящее время ОсВ достаточно равномерно и повсеместно загрязнено УПФ Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb. Фиксируемый в том или ином случае уровень техногенного загрязнения напрямую зависит того, присутствуют или нет в рассматриваемой выборке образцы донных отложений с высоким содержанием ОБ.

Ряска (табл. 7, рис. 10–27). Крупные вдольбереговые поля ряски *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L. – одна из характерных особенностей акватории ОсВ от д. Лапичи до нижнего расширенного его участка. Т. к. указанный биологический объект распространён по всей акватории, параллельно с опробованием донных отложений производился и его отбор. Выбор ряски в качестве объекта исследования также связан с перспективой развития данного водоёма. Генетический ряд развития водной растительности ОсВ в период 1977–2010 гг. имел следующий вид: аир обыкновенный → манник водный; рдест блестящий → роголистник погружённый; виды рясок → кубышка жёлтая. Как отмечается в работе [6, С. 102]: «*наступление последней стадии развития водохранилища – отмирания (перерождения), в которую, собственно, уже и вступает водоём, приведёт к замене сформировавшихся лимнических ассоциаций на водно-болотные и болотные виды. На месте водохранилища будет наблюдаться болотный массив с чётко выраженным руслом реки.*»

Данные содержания 16 химических элементов в ряске приведены в табл. 7. Статистическая обработка полученных показателей свидетельствует о том, что в химическом составе ряски среди металлов основную роль играют (мг/кг): Fe (1 726) > Mn (964) > Ti (153) – элементы «естественного» происхождения. Прочие микроэлементы располагаются в следующем ряду: Ba (87) > Zn (74) > Sr (59) > Ni (37) > Cu (20) > Cr (12) > Sn (7,3) > Pb (2,6) > Co, V (2,4) > Mo (0,55) > Ag (0,13). Среди них к «техногенным» уверенно могут быть отнесены Zn, Ni, Cu, Cr, Sn, Pb, Mo, Ag. Заметно, что аккумуляция элементов ряской носит избирательный («фракционирующий») характер – так, например, если для УПФ металлов в донных отложениях было характерно соотношение Cr > Cu > Ni, то для ряски установлено обратное соотношение Ni > Cu > Cr и т. д.

Загрязнение ряски металлами достаточно равномерно распределено по акватории водохранилища. Исключение составляет Ag (рис. 24) – повышенные концентрации приурочены к верхней части акватории.

Рассмотрение корреляционных связей, существующих между микроэлементами в ряске, показывает, что для данного биологического объекта характерны свои взаимосвязи, кардинально отличающиеся от таковых для УПФ элементов в донных отложениях. Если для последних характерна взаимосвязь всех исследованных компонентов (ОБ, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb; $r = +0,810-0,985$, $n = 28$, $p < 0,0001$), то для ряски подобные взаимосвязи (за исключением связи Mn–Zn, $r = +0,779$, $n = 17$, $p < 0,001$) не прослеживаются.

Следует отметить, что ряска ОсВ, бесспорно, техногенно загрязнена Zn, Ni, Cu, Cr, Sn, Pb, Mo, Ag и другими элементами. Однако вследствие быстрой обновляемости водной массы водохранилища (45 раз в год), полученные показатели скорее характеризуют общий уровень загрязнения его воды данными элементами, чем загрязнённость конкретных локальных участков, на которых были взяты рассматриваемые нами пробы. Так, из данных, приведённых на

рис. 28, следует, что как для всей суммы концентраций металлов в ряске (Ti–Zn, Sr, Mo, Ag, Sn, Ba, Pb), так и суммы «техногенных» (Cr, Ni, Cu, Zn, Sn, Pb) свойственно более-менее равномерное (кроме Ag) распределение по акватории водохранилища.

Таблица 7 – Статистические характеристики содержания химических элементов в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L. ОсВ (n = 17), мг/кг сухого вещества

Элемент	x (lim)	σ_x	S_x
Зольность, %	23,2 (14,1–42,2)	7,90	1,92
P	9 947 (5 200–19 400)	3 567	865
Ti	153 (94–241)	37,2	9,02
V	2,35 (1,0–4,2)	0,805	0,195
Cr	11,8 (2,6–22)	6,28	1,52
Mn	964 (510–1 790)	340	82
Fe	1 726 (790–2 800)	560	136
Co	2,41 (1,4–4,0)	0,750	0,182
Ni	36,6 (22–57)	11,5	2,79
Cu	19,7 (9,3–27)	5,35	1,30
Zn	74,1 (35–160)	29,8	7,23
Sr	59,3 (28–88)	17,8	4,32
Mo	0,554 (0,30–1,0)	0,205	0,050
Ag	0,132 (0,07–0,28)	0,080	0,019
Sn	7,34 (1,0–30)	8,75	2,12
Ba	86,6 (56–150)	23,3	5,65
Pb	2,60 (1,4–4,1)	0,757	0,184

Данный вывод подтверждается также сопоставлением аккумуляции Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb в ряске и их УПФ в донных отложениях непосредственно в тех же точках опробования (n = 16). Рассчитанные коэффициенты корреляции не превышают |0,28| и статистически недостоверны ($p > 0,3$).

В наглядной форме (рис. 29) эта закономерность проявляется при сравнении аккумуляции ряской и донными отложениями суммы УПФ «техногенных» Cr, Ni, Cu, Zn и Pb (для точек с несколькими пробами взяты максимальные значения).

Таким образом, сопряжённое опробование донных отложений и суммы нескольких доминантных для ОсВ видов макрофитов (*Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L.,) показывает, что последние могут быть использованы в качестве дополнительного естественного биоиндикатора, позволяющего судить об общем (усреднённом) уровне загрязнения водной массы водохранилища «техногенными» металлами.

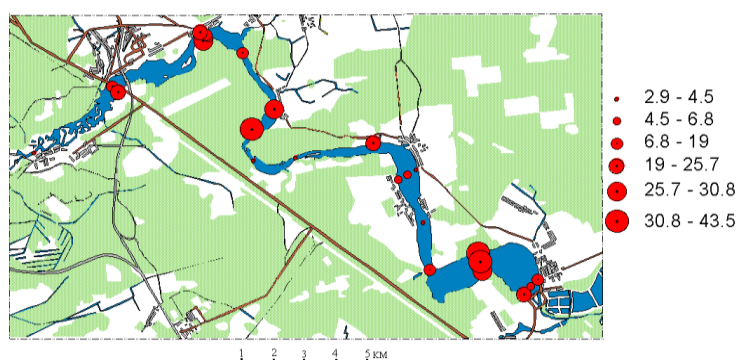


Рисунок 1 – Содержание ОВ в донных отложениях, %

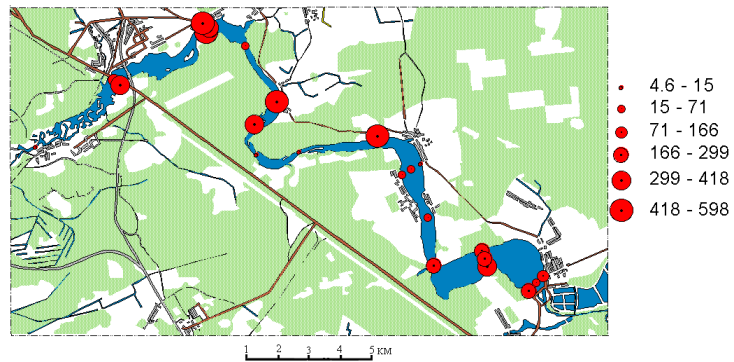


Рисунок 2 – Содержание УПФ Cr в донных отложениях, мг/кг сухого вещества

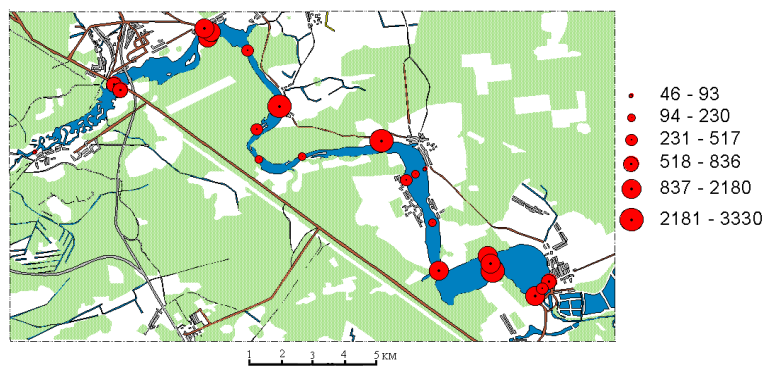


Рисунок 3 – Содержание УПФ Mn в донных отложениях, мг/кг сухого вещества

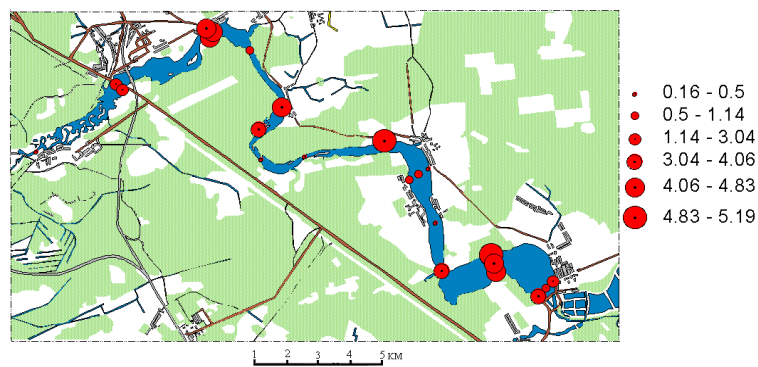


Рисунок 4 – Содержание УПФ Fe в донных отложениях, % от сухого вещества

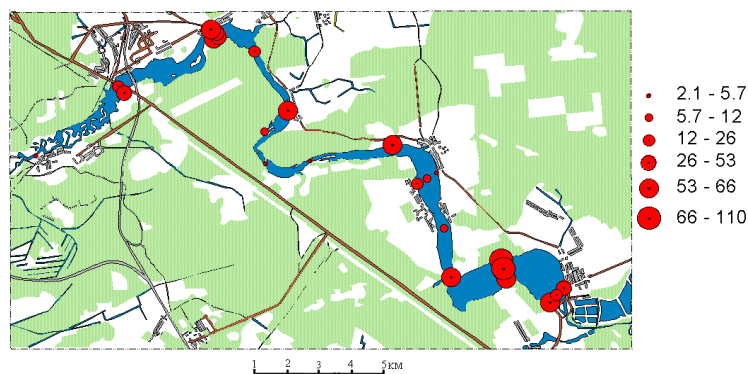


Рисунок 5 – Содержание УПФ Ni в донных отложениях, мг/кг сухого вещества

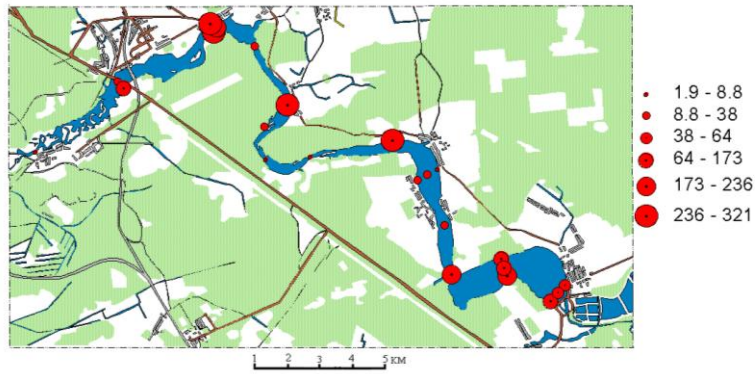


Рисунок 6 – Содержание УПФ Cu в донных отложениях, мг/кг сухого вещества

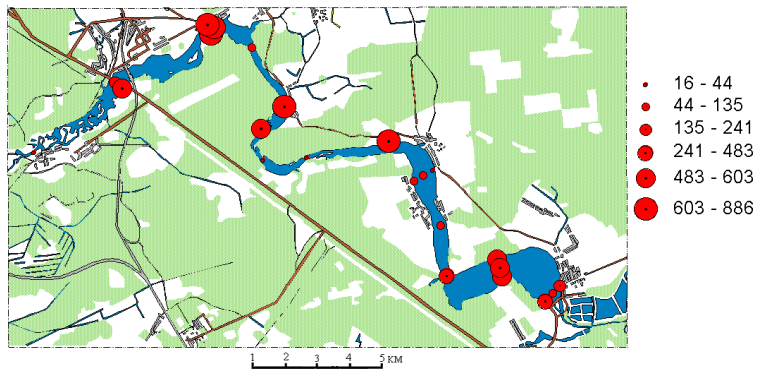


Рисунок 7 – Содержание УПФ Zn в донных отложениях, мг/кг сухого вещества

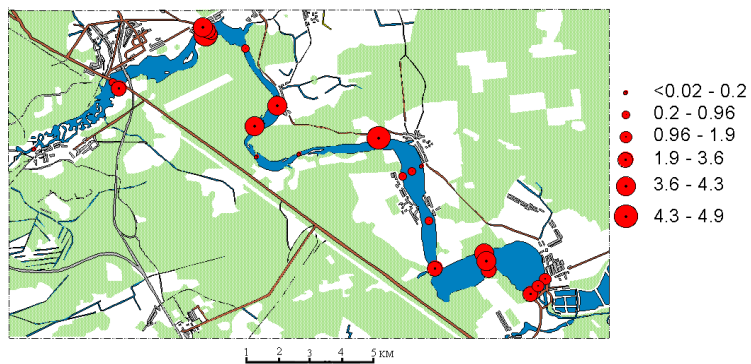


Рисунок 8 – Содержание УПФ Cd в донных отложениях, мг/кг сухого вещества

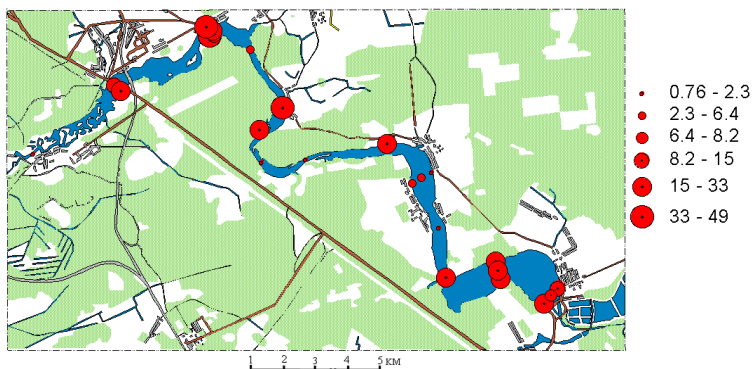


Рисунок 9 – Содержание УПФ Pb в донных отложениях, мг/кг сухого вещества

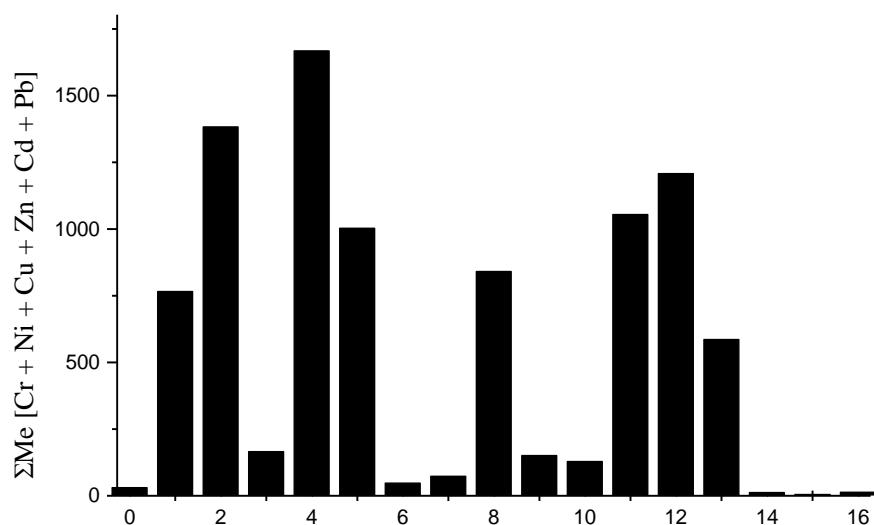


Рисунок 10 – Распределение суммы УПФ «техногенных» металлов в донных отложениях ОсВ и р. Свислочь, мг/кг сухого вещества

Расположение точек опробования: 0 – р. Свислочь, д. Цель; 1 – ОсВ, непосредственно выше моста автотрассы Минск–Бобруйск; 3 – 1 км ниже т. 2; 4 – д. Озерище; 5 – 0,8 км ниже т. 4; 6 – 1,2 км ниже т. 5; 7 – 2 км ниже т. 6; 8 – 1 км выше д. Зборск; 9 – 0,1 км ниже д. Зборск; 10 – 0,1 км ниже д. Верейцы; 11 – 1,9 км ниже т. 10; 12 – 2 км ниже т. 11; 13 – 0,08 км выше плотины ГЭС; 14 – р. Свислочь, 0,09 км ниже плотины ГЭС; 15 – мост у д. Липень; 16 – д. Устиж.

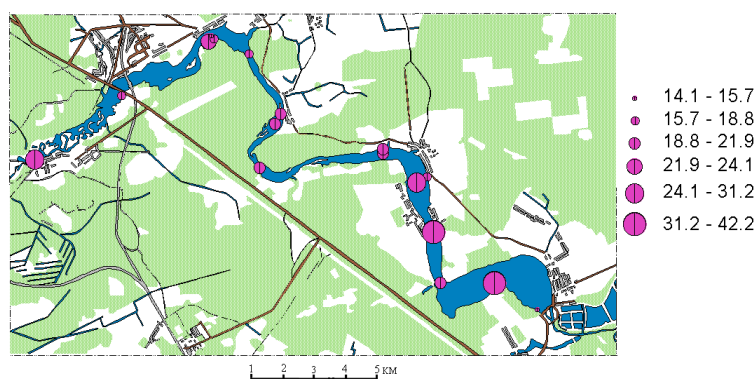


Рисунок 11 – Зольность ряски *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., % от сухого вещества

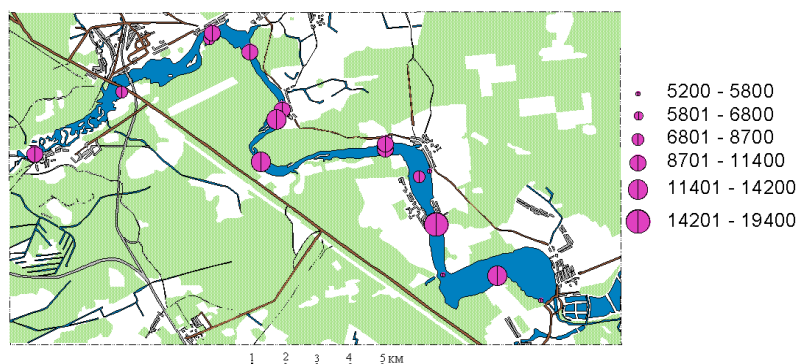


Рисунок 12 – Содержание P в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

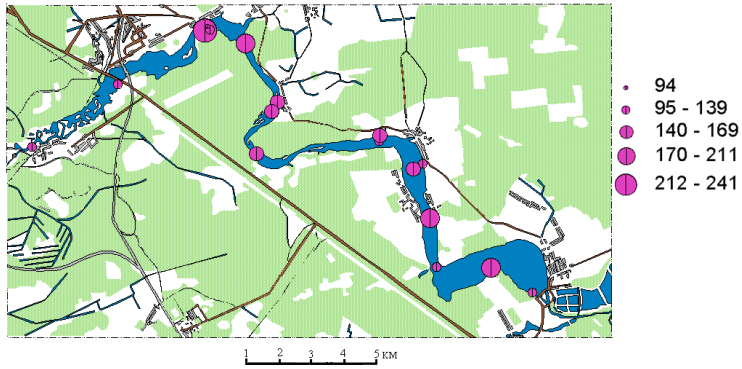


Рисунок 13 – Содержание Ti в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

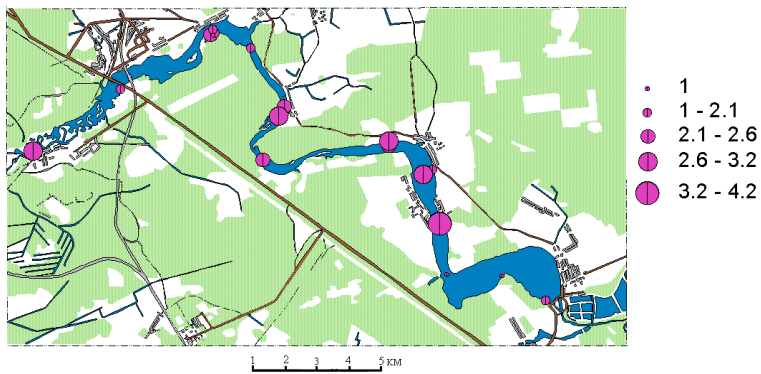


Рисунок 14 – Содержание V в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

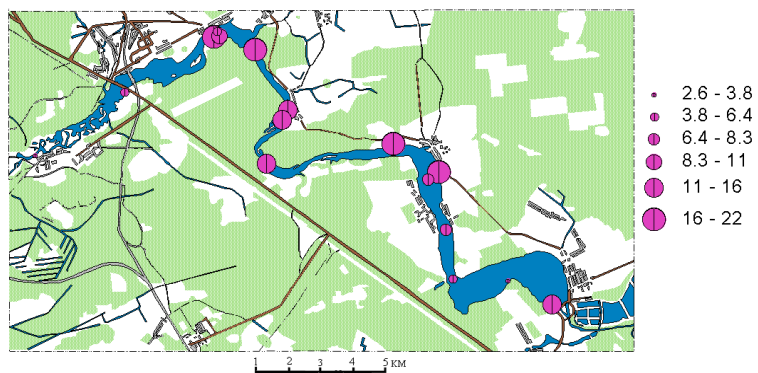


Рисунок 4.15 – Содержание Cr в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

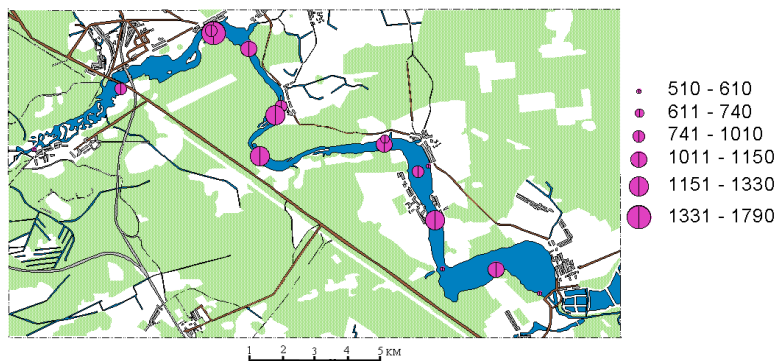


Рисунок 16 – Содержание Mn в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

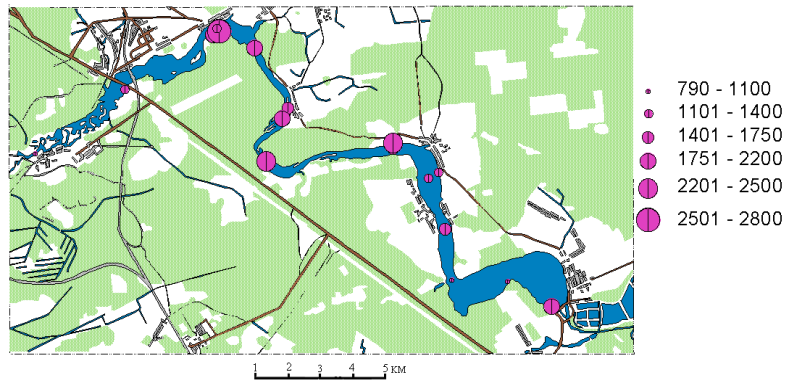


Рисунок 17 – Содержание Fe в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

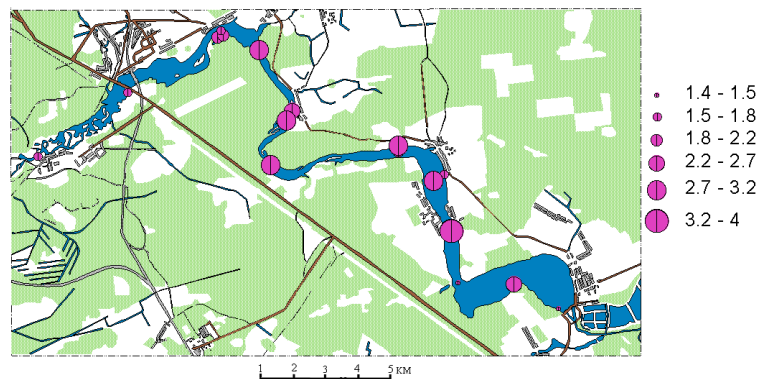


Рисунок 18 – Содержание Co в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества



Рисунок 19 – Содержание Ni в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

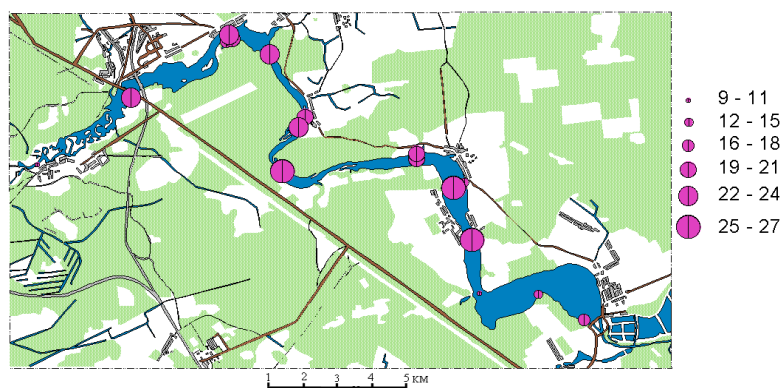


Рисунок 20 – Содержание Si в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

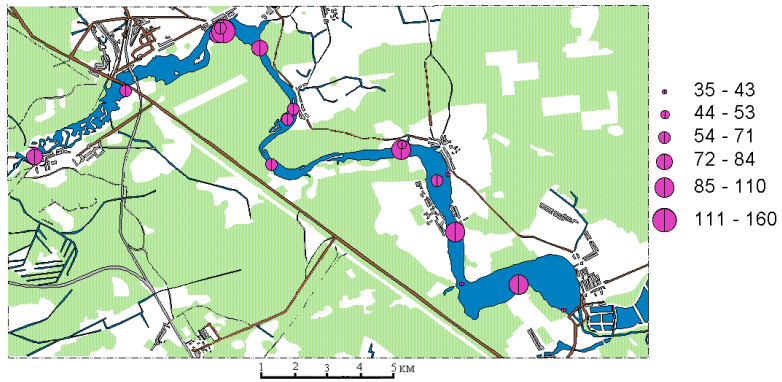


Рисунок 21 – Содержание Zn в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

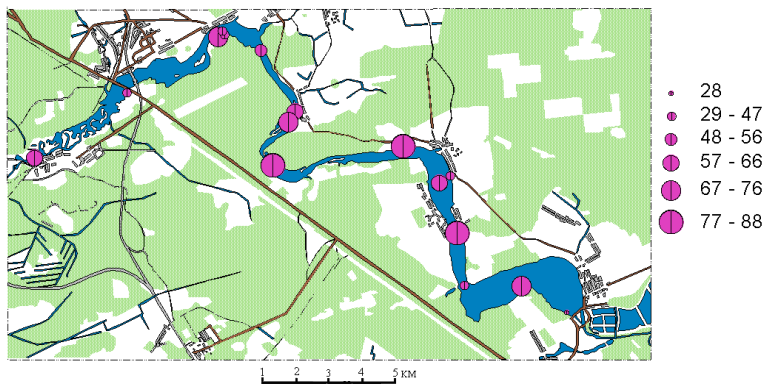


Рисунок 22 – Содержание Sr в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

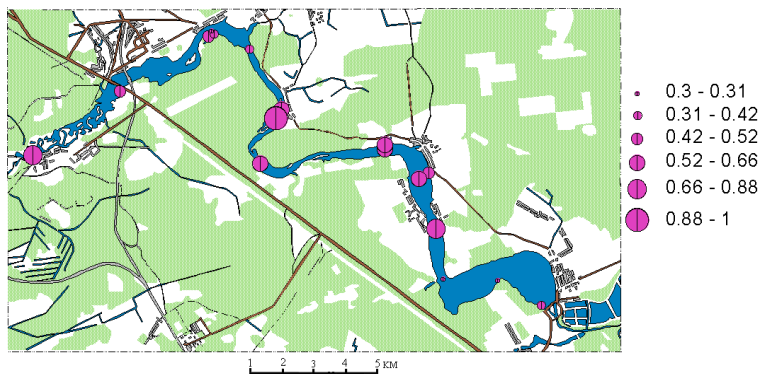


Рисунок 23 – Содержание Mo в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

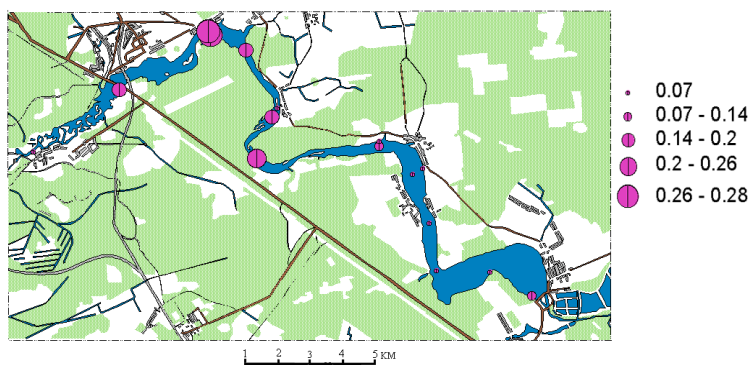


Рисунок 24 – Содержание Ag в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

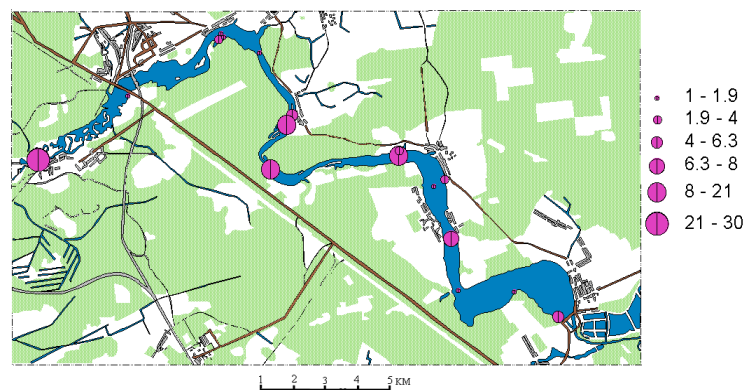


Рисунок 25 – Содержание Sn в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

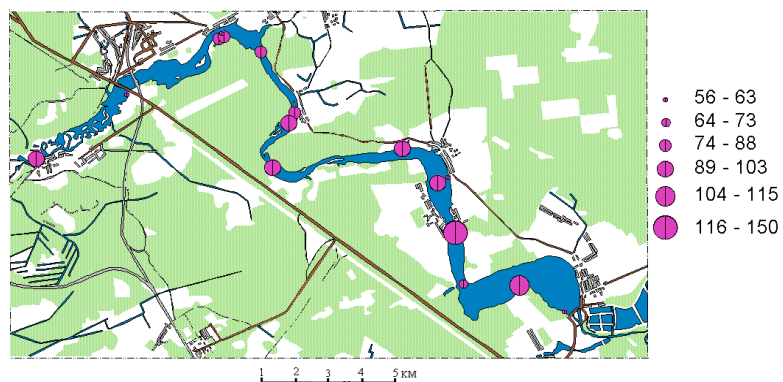


Рисунок 26 – Содержание Ba в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

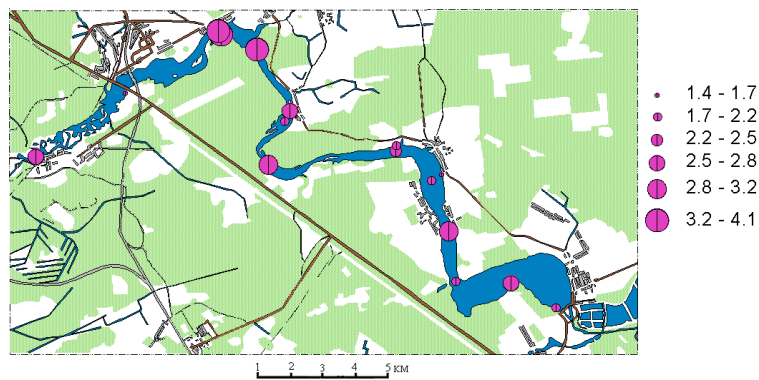


Рисунок 27 – Содержание Pb в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L., мг/кг сухого вещества

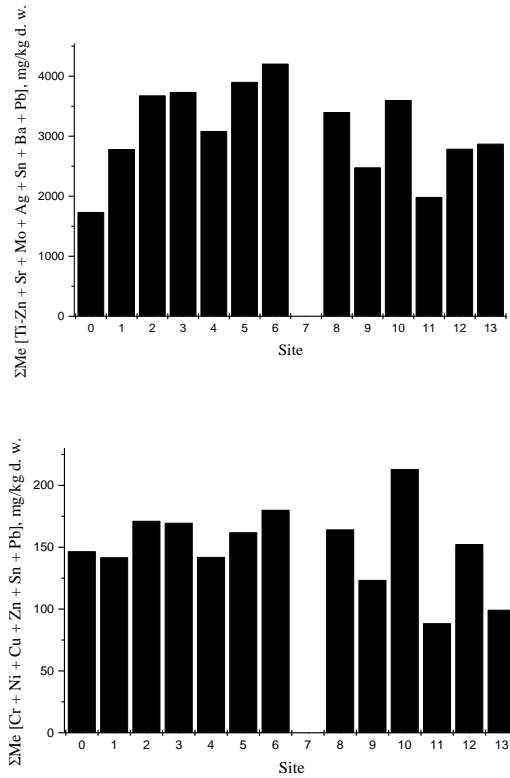


Рисунок 28 – Сумма металлов в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L. ОсВ, мг/кг сухого вещества

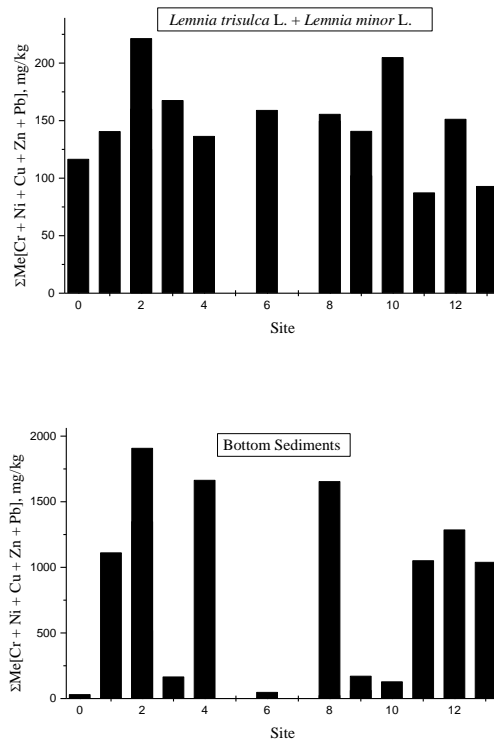


Рисунок 29 – Сумма «техногенных» металлов в ряске *Lemnia trisulca* L., *Lemnia minor* L. и донных отложениях (УПФ) ОсВ, мг/кг сухого вещества (тт. 5 и 7 параллельно не опробовались).

Библиографические ссылки

1. Беларуская савецкая энцыклапедыя : В 12 т. Мінск : Гал. рэд. Беларус. савец. энцыклапедыі, 1969. Т. 1.
2. Белорусская Советская Социалистическая Республика. Мінск : Гл. ред. Белорус. совет. энцыклапедыі, 1978.
3. Водохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / Под ред. В. М. Широкова. Минск : Университетское, 1991. С. 9–14.
4. Матарзин Ю. М., Богословский Б. Б., Мацкевич И. К. Специфика водохранилищ и их морфометрия. Пермь : Изд-во Пермского ун-та, 1977.
5. Природа Белоруссии : Популяр. энциклопедия. Минск : БелСЭ, 1986.
6. Кабушева Т. С. Современное состояние растительности Осиповичского водохранилища // Вестн. БГУ. Сер. 2. Химия. Биология. География. 2011. № 1. С. 99–102.

УДК 504.4.054(476)

МАЛЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ г. МИНСКА: ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И ЭКОЛОГО-РЕКРЕАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Е. П. Овчарова, Е. В. Санец, Г. М. Бокая

Институт природопользования НАН Беларуси,

ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; geosystem1@rambler.ru

Рассматривается современное состояние малых городских водных объектов на примере г. Минска. Приведены данные по их генетическим признакам, особенностям истории развития, функциональному назначению, гидрологическим, гидроморфологическим и гидрохимическим характеристикам, а также степени их антропогенной нарушенности. Дана оценка условий функционирования и эколого-рекреационной значимости малых городских водных объектов на урбанизированной территории.

Ключевые слова: малые городские водные объекты; гидрохимическая трансформация; ассимиляционный потенциал; эколого-рекреационная значимость.

Гидрографическая сеть современного города подвергается сильной трансформации, что обуславливает её высокое разнообразие. В результате застройки и освоения территории сокращается площадь водосборов и уменьшается длина рек, дренирующих территорию города, формируются техногенные водосборы дождевых коллекторов, реки забираются в коллекторы и пересыхают. Эксплуатация водозаборов подземных вод для нужд города способствует исчезновению малых рек. Кроме того, малые городские водные объекты (МГВО) и водноболотные комплексы зачастую просто уничтожаются в ходе строительства необходимых для города объектов. С другой стороны, в городах создаются искусственные водные объекты с определённым целевым назначением. В то же время в черту расширяющегося города попадают обводненные карьеры, оставшиеся после разработки строительных материалов или добычи торфа, а также копи близлежащих деревень. Увеличивается и уровень антропогенной нагрузки за счёт рекреации.

Все эти факты осложняют устойчивое функционирование водных объектов на городской территории.

Как правило, генезис водного объекта и его величина определяют его развитие и функционирование. На городской территории водным объектам естественного происхождения (реки, ручьи, остаточные водоёмы на месте высохших русел рек, болотные и старичные водоёмы) легче справляться с антропогенной нагрузкой, т. к. у них в большей или меньшей степе-

ни сохранены их природные функции. Искусственным водным объектам (особенно малым) для устойчивого функционирования нужна так называемая «техническая» поддержка.

В целом малые городские водные объекты на территории г. Минска с учётом специфики их формирования представлены:

- малыми водотоками (например, рр. Мышка и Лошица);
- водохранилищами, созданными на малых водотоках (например, вдхр. Лошица);
- фрагментарными прудами, образовавшимися из-за пересыхания верховий малых водотоков (например, пруды в верховьях рр. Лошицы (парк Павлова) и Мышки);
- прудами-копанями в заболоченных верховьях исчезнувших рек (например, небольшие пруды в районе МКАД и ул. Шугаева в верховьях уже несуществующего притока р. Слепни);
- декоративными прудами возле подземных источников питьевой воды (питьевых фонтанов) (например, пруды в Минске в сквере по ул. Волоха, на пр. Победителей, 82, в парке им. 60-летия Октября, на пересечении улиц Лещинского и Матусевича и т. д.);
- техническими прудами, с течением времени попавшими в городскую черту и стихийно используемыми населением в рекреационных целях (например, пруд Тепличный возле КПУП «Минскзеленстрой» или карьерный водоём у лесопарка Медвежино и др.);
- технологическими водоёмами, целенаправленно созданными для выполнения определённых хозяйственных функций: пруды-отстойники для отведения и отстаивания вод поверхностного стока с территорий индивидуальной и промышленной застройки (например, пруды на выпуске дождевых коллекторов Запад, Юго-Запад и Дrajня), пруды-усреднители для предварительной очистки речных вод, вод мелиоративных каналов, а также поверхностного стока с сельхозугодий путём их отстаивания и последующего сброса в водоприёмники;
- водоёмами, которые находятся в составе частично сохранившихся водно-болотных угодий, и в настоящее время могут иметь природоохранное направление использования (например, водоём в центре болота Шейпичи или водоём в центре остатка болота Сухарево границах улиц Рафиева и Есенина);
- природными и техническими рекреационными водными объектами, для которых ранее были проведены работы по благоустройству, однако, в настоящее время они нуждаются в очистке и реконструкции (например, пруды в Тучинском сквере в границах ул. Берута, Харьковской и Верещагина);
- неучтёнными водоёмами, которые не включены в какие-либо реестры, однако активно используются горожанами для целей рекреации (например, водоём на территории зоны общественной специализированной застройки по ул. Купревича).

Любой водный объект (природный или технический, обустроенный или заброшенный) на территории города, как правило, имеет высокий уровень привлекательности для горожан.

Так, согласно анализу данных, большую долю на территории Минска составляют искусственные МГВО – 52,7 %, на долю естественных МГВО приходится 29,1 %, искусственных, созданных на месте естественных – 14,6 %, естественных, возникших из-за гидрогеологических нарушений – 3,6 %.

Для изучения гидрохимического режима малых водных объектов на территории г. Минска в различные сезоны 2019–2020 гг. проведены натурные исследования, в ходе которых отобрано более 150 проб воды для определения содержания основных макрокомпонентов, биогенных веществ, цветности, перманганатной окисляемости, $Fe_{\text{общ}}$ и нефтепродуктов. Исследовано 52 малых городских водных объекта (рис.).

Гидрохимическая трансформация водных объектов оценивалась на основании рассчитанного ассимиляционного потенциала по первичным индикаторам (аммонийному, нитритному, нитратному N, фосфатному P и Cl), типу вод и содержанию нефтепродуктов [1].

В табл. 1 приведены шкалы для указанных первичных индикаторов по степени гидрохимической трансформации.

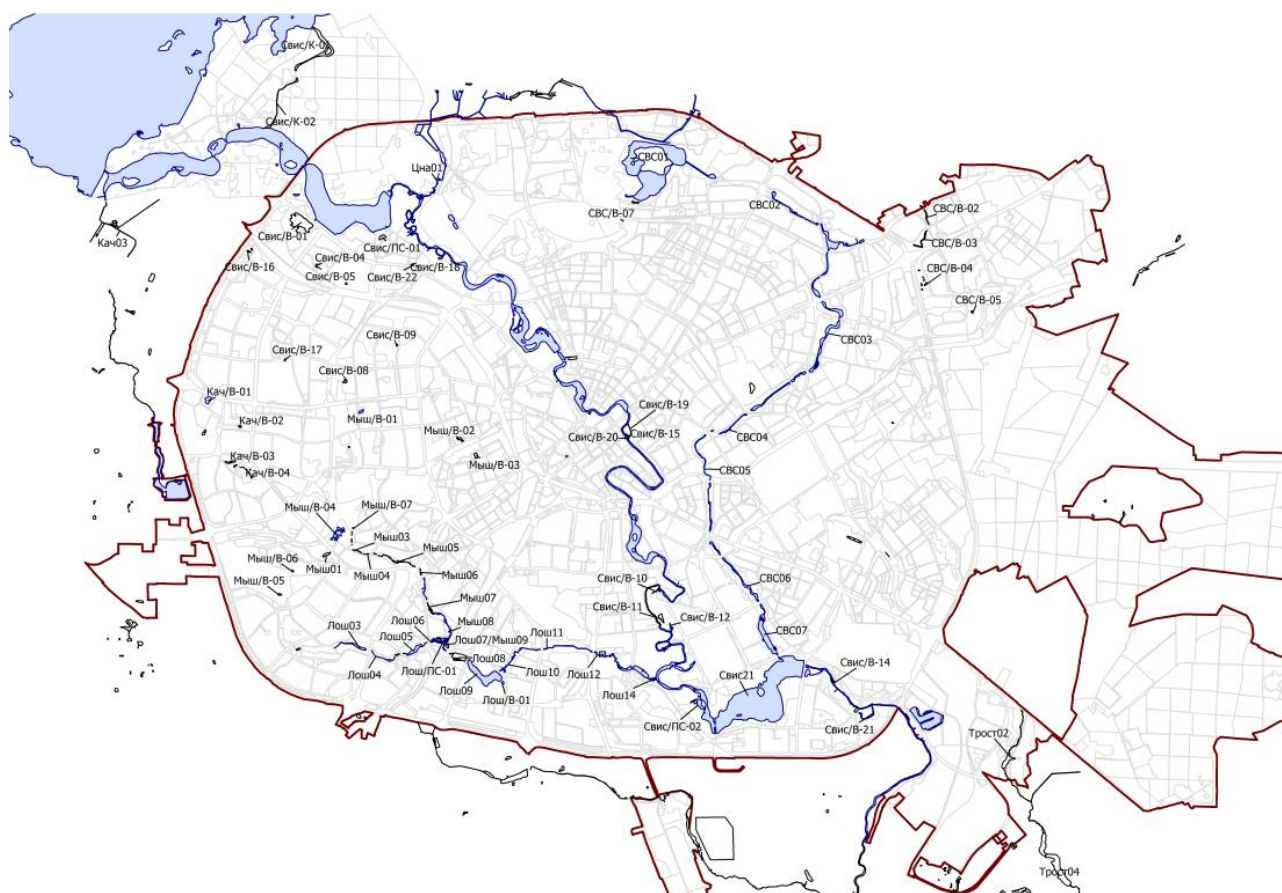


Рисунок – Карта-схема точек отбора проб воды малых водных объектов г. Минска

Таблица 1 – Шкала степени гидрохимической трансформации водных объектов, мг/дм³

Балл	Степень трансформации	Индикаторы				
		Аммонийный N	Нитритный N	Нитратный N	Фосфатный P	Сl
1	Слабая	<0,195	<0,012	<0,50	<0,033	<15,0
2	Средняя	0,196–0,390	0,013–0,024	0,51–1,00	0,034–0,066	15,1–30,0
3	Сильная	0,391–0,780	0,025–0,048	1,1–2,0	0,067–0,132	30,1–60
4	Очень сильная	>0,781	>0,049	>2,1	>0,133	>60,1

Как указывалось ранее, балл ассимиляционного потенциала позволяет оценить справляется ли водный объект с антропогенной нагрузкой (в том числе биогенной), тип вод (зональный или а зональный) может характеризовать как уровень нагрузки (главным образом за счёт поверхностного стока), так и свидетельствовать о долговременном нарушении гидрохимического режима, как и содержание нефтепродуктов в воде.

Так, например, если трансформирован гидрохимический состав (тип вод отличается от зонального гидрокарбонатного кальциевого или кальциево-магниевого), но балл ассимиляционного потенциала не превышает 10, это может свидетельствовать о загрязнении подземных вод на территории расположения водного объекта, а если фиксируется наличие нефтепродуктов, то и о поступлении поверхностного стока с прилегающей территории в водный объект.

Если фиксируется гидрохимическая трансформация (азональный тип вод), превышение ассимиляционного потенциала и содержание нефтепродуктов выше ПДК, это свидетельствует о сильных нарушениях функционирования водного объекта, в том числе и за счёт загрязнённого поверхностного стока.

Таблица 2 – Показатели состояния и эколого-рекреационной значимости МГВО г. Минска

Код водного объекта	Состояние водного объекта				Рекреационная значимость	Природно-экологические функции, класс
	Балл ассимиляционного потенциала	Наличие гидрохимической трансформации вод	Содержание нефтепродуктов	Суммарная оценка состояния		
Кач/В-01	9	Отсутствует	0,062*	Нарушено	Низкая	2
Кач/В-02	8	Трансформирован	0,040	Не нарушено	Средняя	2
Кач/В-03	11**	Трансформирован	0,095	Нарушено	Средняя	1
Кач/В-04	15	Трансформирован	0,006	Нарушено	Средняя	1
Кач03	9	Отсутствует	0,004	Не нарушено	Высокая	1
Лош/В-01	7	Отсутствует	0,084	Нарушено	Средняя	2
Лош/В-02	9	Трансформирован	2,096	Нарушено	Средняя	1
Лош03	9	Трансформирован	0,015	Не нарушено	Высокая	1
Лош04	10	Трансформирован	0,129	Нарушено	Низкая	1
Лош05	8	Трансформирован	0,067	Нарушено	Средняя	1
Лош07	19	Трансформирован	0,093	Нарушено	Средняя	1
Лош09	14	Трансформирован	0,130	Нарушено	Высокая	1
Лош11	16	Трансформирован	0,119	Нарушено	Средняя	1
Лош14	15	Трансформирован	0,122	Нарушено	Высокая	1
Мыш/В-01	11	Трансформирован	0,030	Нарушено	Средняя	2
Мыш/В-02	7	Трансформирован	0,010	Не нарушено	Средняя	2
Мыш/В-03	9	Трансформирован	0,014	Не нарушено	Средняя	2
Мыш/В-04	9	Отсутствует	0,053	Нарушено	Средняя	2
Мыш/В-05	10	Трансформирован	0,505	Нарушено	Средняя	1
Мыш/В-06	8	Трансформирован	0,185	Нарушено	Средняя	2
Мыш01	10	Отсутствует	2,520	Нарушено	Низкий	1
Мыш03	8	Трансформирован	0,014	Не нарушено	Низкий	1
Мыш05	10	Трансформирован	0,068	Нарушено	Низкий	1
Мыш08	13	Трансформирован	0,031	Нарушено	Средняя	1
Мыш09	15	Трансформирован	0,904	Нарушено	Средняя	1
Свис/В-01	10	Трансформирован	0,029	Нарушено	Средняя	1
Свис/В-04	11	Трансформирован	0,011	Нарушено	Средняя	2
Свис/В-05	10	Трансформирован	0,130	Нарушено	Средняя	2
Свис/В-08	8	Трансформирован	0,088	Нарушено	Средняя	1
Свис/В-09	11	Отсутствует	0,092	Нарушено	Средняя	2
Свис/В-10	13	Отсутствует	0,021	Нарушено	Средняя	1
Свис/В-11	10	Отсутствует	0,010	Нарушено	Средняя	2
Свис/В-12	9	Трансформирован	0,030	Не нарушено	Средняя	1
Свис/В-14	8	Трансформирован	0,072	Нарушено	Низкая	1
Свис/В-15	9	Отсутствует	0,021	Не нарушено	Высокая	2
Свис/В-16	10	Трансформирован	0,048	Нарушено	Низкая	2
Свис/В-17	9	Отсутствует	0,032	Не нарушено	Средняя	2
Свис/В-18	8	Отсутствует	0,057	Нарушено	Низкая	1
Свис/В-19	10	Отсутствует	0,034	Не нарушено	Средняя	2
Свис/В-20	9	Отсутствует	0,017	Не нарушено	Средняя	2
Свис/В-21	13	Трансформирован	0,064	Нарушено	Низкая	1
Свис/В-22	6	Отсутствует	0,029	Не нарушено	Средняя	2
Свис/ПС-02	11	Трансформирован	0,072	Нарушено	Низкая	2
СВС/В-02	12	Трансформирован	0,016	Нарушено	Средняя	1
СВС/В-03	7	Отсутствует	0,016	Не нарушено	Средняя	1
СВС/В-04	13	Трансформирован	0,018	Нарушено	Средняя	1
СВС/В-05	6	Отсутствует	0,034	Не нарушено	Средняя	2
СВС07	8	Отсутствует	0,049	Не нарушено	Высокая	1
Трост01	17	Трансформирован	0,019	Нарушено	Средняя	1
Трост02	14	Трансформирован	0,034	Нарушено	Высокая	2
Трост04	18	Трансформирован	0,033	Нарушено	Высокая	1
Цна01	14	Трансформирован	0,004	Нарушено	Высокий	1

* – Выделено превышение ПДК.

** – Выделено превышение ассимиляционного потенциала.

Если гидрохимический состав не трансформирован и нет нефтепродуктов, но при этом превышен ассимиляционный потенциал, это свидетельствует о нарушении режима биогенных веществ, что может быть характерно для болотных и старичных водоёмов.

Оценка эколого-рекреационной значимости малых городских водных объектов проведена с использованием, разработанного ранее методического подхода с учётом 3-х основных групп признаков: рекреационной значимости; состояния водного объекта; природно-экологических функций [2].

Для оценки рекреационной значимости водных объектов предлагается бальная шкала, в основу которой положена классификация рекреационной значимости, включающая 7 позиций – от полностью утраченного водного объекта, восстановление которого невозможно (0 баллов), до исторически ценного водного объекта (6 баллов), с учётом имеющейся инфраструктуры и удалённости от аналогичных рекреационных объектов балл может быть повышен до 9. Окончательная шкала оценки рекреационной значимости выглядит следующим образом: 2–3 балла – низкая значимость, 4–6 баллов – средняя, 7–9 баллов – высокая.

Значимость водного объекта с точки зрения выполняемых им природно-экологических функций предлагается оценивать на основании того, насколько данный водный объект определяет целостность и неразрывность экосистемы, обеспечивающую миграцию, распространение видов и устойчивость экосистемы, или, другими словами, по расположению водного объекта в биокоридоре:

- 1-й класс – водные объекты, расположенные в биокоридоре;
- 2-й класс – водные объекты, расположенные вне биокоридора.

Основные показатели состояния и эколого-рекреационной значимости МГВО г. Минска приведены в табл. 2.

В настоящее время 2/3 МГВО Минска – это в разной степени искусственные водные объекты, устойчивое функционирование которых обусловлено, главным образом, проведением на должном уровне инженерно-технических, гидротехнических и природоохранных мероприятий. В целом гидрохимический режим МГВО Минска относительно стабилен во времени и обусловлен, главным образом, уровнем антропогенной нагрузки и сложившимися природно-антропогенными условиями.

Анализ данных химического состава проб воды показал, что для 21,5 % проб выявлено превышение предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в 1,1–5,4 раза. Установлено, что из 52 исследованных МГВО г. Минска в нарушенном состоянии находятся 37, в ненарушенном – 15; по выполнению природно-экологических функций к 1 классу отнесено 30, ко 2 классу – 22 МГВО. 64 % МГВО имеют средний уровень рекреационной значимости, 19 – низкий и 17 % – высокий уровень рекреационной значимости.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Х19-012 «Геоэкологическая оценка малых городских водных объектов для целей оптимизации градостроительного планирования»).

Библиографические ссылки

1. Овчарова Е.П., Кадацкая О. В. Геоэкологические критерии для целей реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях // Природопользование. 2014. Вып. 26. С. 25–30.
2. Санец Е. В., Кадацкая О. В., Овчарова Е. П. Методические подходы к оценке эколого-рекреационной значимости водных объектов в составе природного каркаса города // Акт. проблемы наук о Земле: использование природ. ресурсов и сохранение окружающей среды: сб. материалов Международ. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сент. 2017 г. : в 2 ч. Брест : БрГУ, 2017. Ч. 2. С. 135–137.

СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ДОЛИНЕ р. СВИСЛОЧИ В г. МИНСКЕ

С. В. Савченко, Е. В. Санец, В. А. Рыжиков, Г. М. Бокая

Институт природопользования НАН Беларуси,
ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; geosystem1@rambler.ru

Исследования почв долины р. Свислочи в г. Минске показали, что избыточного накопления в них тяжёлых металлов не отмечается. Исключение составляет Cd, содержание которого превышает среднее для города значение в 1,7 раза. Среднее содержание HCO_3^- , Ca и Mg выше среднего для города значения в 2,1–2,6 раза, концентрации Cl, Na и K ниже в 1,6–4,1 раза, сумма солей – в 1,7 раза.

По линии ландшафтно-геохимического профиля 1 в почвах наблюдаются повышенные концентрации Cd; в почвах элювиального ландшафта – также Ni, SO_4^{2-} , Na и K; в почвах трансэлювиального ландшафта – Pb; супераквального ландшафта – HCO_3^- , Ca, Mg и суммы солей.

Почвы по линии ландшафтно-геохимического профиля 2 отличаются повышенным содержанием Cd; почвы элювиального ландшафта – SO_4^{2-} ; трансэлювиального ландшафта – Mg и K; элювиального и трансупераквального – Mn; трансупераквального ландшафта – Zn, Na и суммы солей.

Ключевые слова: Долина реки; почвы; тяжёлые металлы; нефтепродукты; водорастворимые вещества; содержание химических веществ.

Введение. Одним из направлений эколого-геохимического исследования городов является изучение городских водных объектов, которые в условиях города имеют важную рекреационную функцию, т. к. к водоёмам и водотокам приурочены значительные по площади природные комплексы. В г. Минске самым крупным природным комплексом, включающим разные по статусу ландшафтно-рекреационные территории, является долина р. Свислочи. Река протекает по территории г. Минска с северо-запада на юго-восток на протяжении 40 км.

С точки зрения геохимии главной особенностью долинных комплексов является формирование отложений, связанных с эрозионной и аккумулятивной деятельностью рек, распространением речных песчаных осадков, наличием различных, присущих только речным долинам, особенных форм рельефа. В соответствии с особенностями геоморфологического строения, характера и направленности аллювиальных процессов на разных участках долины реки формируются различные геохимические обстановки и условия миграции и аккумуляции химических элементов. Данные особенности строения долин рек необходимо учитывать при оценке латеральной и радиальной миграции химических элементов и их соединений в почвах долинного комплекса.

Методы исследований. Полевые исследования почв долины р. Свислочи в пределах существующей и перспективной городской черты г. Минска проводились в 2019 г. Они включали комплексное визуальное обследование прибрежной территории и отбор почвенных образцов, который проводился методом продольного и поперечного профилирования. Продольное ландшафтно-геохимическое профилирование осуществлялось путём опробования верхнего почвенного горизонта в наиболее хорошо выраженных элементах речной долины (пойма, надпойменная терраса, коренной берег) на всем протяжении реки. Поперечное ландшафтно-геохимическое профилирование включало отбор верхнего горизонта почв сопряжённого геохимического ряда элементарных ландшафтов [2].

В лабораторных условиях в пробах почв определялись кислотность (pH), содержание нефтепродуктов, валовое содержание Cd, Pb, Zn, Cu, Ni и Mn, а также водорастворимые вещества: анионы – HCO_3^- , Cl, SO_4^{2-} и катионы – Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Проведение измерений со-

держания химических веществ и показателей осуществлялось в соответствии с ТНПА и МВИ в области охраны окружающей среды, действующими на момент исследований.

Оценка эколого-геохимического состояния почв проводилась для каждой пробной площадки путём сравнения фактических значений содержания химических веществ, полученных в результате измерений, со значениями их фонового содержания и действующими на момент обследования гигиеническими нормативами.

Обсуждение результатов.

pH. Опробование показало, что показатель pH почв долины р. Свислочи в границах г. Минска в среднем составляет 6,7, что позволяет отнести почвы к нейтральным. Пределы изменения pH – от 5,2 (кислые почвы) до 7,8 (слабощелочные почвы). Почти половина исследованных почв (48 %) относится к слабощелочным, около 27 % – к нейтральным и близким к нейтральным, 24 % – к кислым и слабокислым. Такие высокие показатели pH являются весьма характерными для городских территорий, что также отмечено в работах [3, 8]. В то же время естественные почвы, в минимальной степени подверженные техногенной нагрузке, имеют более кислую реакцию среды [1, 4].

Тяжёлые металлы и нефтепродукты. В табл. 1 представлены основные статистические параметры, характеризующие содержание тяжёлых металлов (ТМ) и нефтепродуктов (НП) в исследованных почвах.

Таблица 1 – Основные статистические параметры валового содержания ТМ и НП в верхнем (0–20 см) горизонте почв долины р. Свислочи в г. Минске

Показатель	Химическое вещество						
	НП	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Mn
Минимальное содержание, мг/кг	5,0	0,15	3,94	1,78	0,20	10,2	40,3
Максимальное содержание, мг/кг	146,9	0,52	29,0	15,8	65,0	116,0	535,5
Среднее для выборки, мг/кг	31,6	0,33	12,1	8,16	2,82	37,5	165,1
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	6,9	Ед. сл.	–	–	Ед. сл.	13,8	–
Максимальное превышение ПДК (ОДК), раз	1,47	1,04	–	–	3,25	2,11	–
Среднее для г. Минска (фон) [5]	134	0,19	20,4	17,1	6,30	57,1	217
ПДК (ОДК) [7]	100	0,5	32,0	33,0	20,0	55,0	1 500

Оценка валового содержания ТМ в образцах почв, отобранных в долине р. Свислочи (за исключением точек отбора по линии профилей), показала, что средние концентрации большинства из них ниже, чем среднее значение, установленное для г. Минска в целом. Исключение составляет Cd, среднее содержание которого превышает фон в 1,7 раза. Обращают на себя внимание крайне низкие концентрации в почвах Ni, что не характерно для городских почв и почв Беларуси в целом.

Так, среднее содержание Cd в исследованных почвах составляет 0,33 мг/кг, Pb – 12,1, Cu – 8,13, Ni – 2,82, Zn – 37,5, Mn – 165,1, НП – 31,6 мг/кг. Разброс значений для исследованных химических веществ составляет от 3,5 раза для Cd до 29 раз для НП.

Превышение установленных нормативов содержания химических веществ в почвах наблюдается на отдельных локальных участках для Zn и НП, в единичных случаях – для Cd и Ni. Наибольшая встречаемость проб с превышением допустимого уровня зафиксирована для Zn – 13,8 % проб. Для НП данный показатель составляет 6,9 %.

Анализ водных вытяжек из верхнего горизонта почв показал, что в пределах природных комплексов долины р. Свислочи среди анионов преобладают HCO_3^- – 97 %-экв, среди катионов – Ca^{2+} (65 %-экв) и Mg^{2+} (21 %-экв) (табл. 2). Исходя из имеющихся данных можно предположить, что основная масса HCO_3^- связана с ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , образуя соли $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

Таблица 2 – Основные статистические параметры содержания водорастворимых веществ в верхнем (0–20 см) горизонте почв долины р. Свислочи в г. Минске

Показатель	Водорастворимое вещество, мг/кг							
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ _M
Минимальное содержание, мг/кг	244	18,0	4,0	32,0	12,0	4,5	1,5	360,0
Максимальное содержание, мг/кг	1 830	18,2	29,3	541,0	134,0	17,5	89,0	2 864
Среднее для выборки, мг/кг	909,7	18,0	10,6	201,6	64,0	9,3	36,1	1 249
Встречаемость значений выше фона, %	73,9	–	–	65,2	95,7	–	13,0	65,2
Максимальная превышение фона, раз	4,1	0,4	0,8	6,3	5,4	0,5	1,5	3,9
Среднее для г. Минска (фон) [6]	443,5	40,9	37,6	85,9	24,9	38,3	58,4	732

Так, среднее содержание HCO₃⁻ достигает 909,7 мг/кг, ионов Cl⁻ – 18,0, SO₄²⁻ – 10,6, Ca²⁺ – 201,6, Mg²⁺ – 64, Na⁺ – 9,3, K⁺ – 36,1 мг/кг. Разброс значений составляет от 3,9 раза для ионов Na⁺ до 59 раз для K⁺. Различия в содержании суммы солей (Σ_M) в разных точках отбора проб почв составляют 8 раз с разбросом значений от 360,0 до 2 864 мг/кг.

По отношению к величинам, рассчитанным для почв г. Минска, согласно [6], среднее содержание HCO₃⁻ в почвах долины р. Свислочи выше в 2,1 раза, Ca²⁺ – в 2,3, Mg²⁺ – в 2,6 раза. Концентрации Cl⁻, Na⁺ и K⁺ ниже – от 1,6 до 4,1 раза. Сумма солей также превышает среднее для города значение в 1,7 раза. Это может быть обусловлено гипсометрически пониженным местоположением обследованных участков, в результате чего в почвы идёт поступление водорастворимых веществ с поверхностным и подземным стоком с вышележащих территорий.

Заложенные на территории исследований поперечные ландшафтно-геохимические профили характеризуют содержание химических веществ в почвах долины р. Свислочи в сопряжённом ряду геохимических ландшафтов.

В ландшафтно-геохимическом профиле 1 почвы имеют кислотность, понижающуюся по линии профиля – от слабокислой с pH 6,0 в почвах элювиального ландшафта до нейтральной с pH 6,6 в почвах супераквального ландшафта.

Исследование содержания ТМ и НП в почвах по линии профиля выявило наименьшие концентрации всех исследованных химических веществ в почвах супераквального ландшафта. Здесь содержание Cd и Cu в 1,3 раза ниже, чем на участках с наибольшей концентрацией, Zn – в 2,7, Mn – в 2,8, Pb – в 4,1 раза. Наибольшая концентрация Cd и Mn характерна для элювиального ландшафта, Pb, Cu, Zn и нефтепродуктов – трансэлювиального.

Особенностью накопления Ni является его высокое содержание в почвах элювиального ландшафта, где концентрация Ni в сотни раз выше, чем на нижележащих участках, и крайне низкие его значения в почвах супераквального ландшафта. При этом в почвах элювиального ландшафта концентрация Ni в 10,3 раза выше фона и в 3,3 раза выше норматива.

Анализ водных вытяжек из почв показал, что почвы элювиального ландшафта характеризуются повышенным по сравнению с нижележащей территорией содержанием SO₄²⁻, Na⁺ и K⁺. В супераквальном ландшафте происходит накопление HCO₃⁻, Ca²⁺ и Mg²⁺. Минимальными значениями всех показателей характеризуются почвы трансэлювиального ландшафта, для которого характерен транзит водорастворимых веществ с их последующим накоплением в почвах нижележащей территории. Это подтверждается данными о сумме солей, находящихся в почвах – их содержание в нижней части профиля в 1,7 раза выше, чем в почвах трансэлювиального ландшафта, и в 1,4 раза выше, чем элювиальном ландшафте.

По сравнению со средними значениями для г. Минска, почвы в пределах профиля 1 обогащены HCO₃⁻, содержание которых превышает фон в 1,5–2,8 раза, Ca²⁺ – в 1,4–2,3 и Mg²⁺ – в 2,9–4,9 раза. По сумме солей почвы исследованной территории также превышают фоновое значение в 1,3–2,2 раза.

В сопряжённом геохимическом ряду по линии профиля 2 показатель рН вниз по профилю увеличивается от 6,6 (нейтральные почвы) до 7,6 (слабощелочные почвы).

Наименьшими значениями большинства исследованных металлов характеризуются почвы трансэлювиального ландшафта, наибольшими – трансупераквального. По сравнению с почвами трансэлювиального ландшафта, почвы трансупераквального ландшафта обогащены Cd в 1,4 раза, Ni – в 1,8, Cu – в 1,9, Zn – в 2,4, Pb – в 2,7, Mn – в 3,5 раза. При этом в почвах трансупераквального ландшафта концентрация Zn в 1,1 раза превышает установленный норматив, содержание Cd находится на уровне норматива, что позволяет говорить об избыточном накоплении данных элементов.

Анализ водных вытяжек из почв по линии профиля 2 показал, что почвы элювиального ландшафта в пределах коренного берега характеризуются повышенным по сравнению с нижележащей территорией содержанием SO_4^{2-} . В трансупераквальном ландшафте происходит накопление ионов Na^+ . В почвах трансэлювиальных ландшафтов повышенное по сравнению с другими участками по линии профиля содержание ионов Mg^{2+} и K^+ . Сумма солей в нижней части профиля в 1,2–2,2 раз выше, чем на вышележащих территориях, что обусловлено гипсометрически пониженным расположением участка.

По сравнению со среднегородскими значениями, почвы в пределах профиля 2 обогащены HCO_3^- , содержание которых превышает фон в 2,1–4,8 раза, Ca^{2+} – в 3,0–6,8 и Mg^{2+} – в 1,9–4,9 раза. Сумма солей в почвах в пределах профиля также превышает фоновое значение для г. Минска в 1,8–3,9 раза.

Выводы. Исследования широкого спектра показателей в почвенном покрове долины р. Свислочи в пределах г. Минска показали следующее.

Величина рН почв в среднем нейтральная и изменяется от 5,2 (кислой) до 7,8 (слабощелочной).

Избыточного накопления ТМ в почвах исследованной территории не отмечается, за исключением Cd, содержание которого превышает среднее для города значение в 1,7 раза. Обращают на себя внимание крайне низкие концентрации в почвах Ni, что не характерно для почв Беларуси в целом.

Среднее содержание гидрокарбонатов в почвах долины р. Свислочи выше среднего для города значения в 2,1 раза, Ca^{2+} – в 2,3, Mg^{2+} – в 2,6 раза. Концентрации Cl^- , Na^+ и K^+ ниже в 1,6–4,1 раза, сумма солей – в 1,7 раза.

В почвенном покрове по линии поперечного профиля 1 идёт накопление Cd, в почвах элювиального ландшафта – также Ni, из водорастворимых веществ – SO_4^{2-} , Na^+ и K^+ , в почвах трансэлювиального ландшафта – Pb. В супераквальном ландшафте происходит накопление HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} . Сумма солей в нижней части профиля в 1,7 раза выше, чем в почвах трансэлювиального ландшафта и в 1,4 раза выше, чем элювиальном ландшафте.

Почвы по линии поперечного профиля 2 отличаются повышенным содержанием Cd, почвы элювиального ландшафта – содержанием SO_4^{2-} , элювиального и трансупераквального – Mn, трансупераквального – Zn и ионов Na^+ . В почвах трансэлювиального ландшафта повышенное по сравнению с другими участками содержание Mg^{2+} и K^+ . Сумма солей в нижней части профиля в 1,2–2,2 раз выше, чем на вышележащих территориях.

Библиографические ссылки

1. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / Под ред. К. И. Лукашёва. Минск : Наука и техника, 1985.
2. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск : Ойкумена, 2002.
3. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск : Беларус. навука, 2013.

4. *Натаров В. М., Лукашѐв О. В., Савченко В. В.* Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике. Минск : Белорус. Дом печати, 2013.

5. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС) [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.ecoinfo.by/uploads/archive/Book2015/1-soil-25-11.pdf> (дата доступа: 11.10.2017).

6. *Рыжиков В. А., Романкевич Ю. А., Городецкий Д. Ю., Бокая Г. М.* Распределение минеральных водорастворимых веществ в почвах функциональных зон городов с различной техногенной нагрузкой // *Природопользование*. 2011. № 20. С. 68–75.

7. ТКП 17.03-06-2019 (33140) Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по дифференцированному нормированию содержания химических веществ в землях (включая почвы). Минск, 2019.

8. *Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И.* Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск : Минсктиппроект, 2004.

УДК 574.424.6(476)

ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ г. СЛУЦКА

А. А. Карпиченко

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; kargi@bsu.by

В статье рассмотрено влияние техногенных факторов на почвенный покров г. Слуцка. Определение валового содержания химических элементов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr) выполнялось эмиссионно-спектральным методом. Среднее содержание Cu в верхних горизонтах почв г. Слуцка составляет 4,3 мг/кг, Pb – 4,7, Mn – 110, Ni – 1,18, Sn – 0,31, Ti – 475, Cr – 9,5 мг/кг. Содержание почти всех исследуемых элементов отличается высокой вариабельностью (коэффициенты вариации достигают 31,2–50,5 %), аномальная – у Cu и Pb (178,7 и 146,1 %). Выявлено два случая превышения ПДК.

Ключевые слова: геохимия почв; техногенез; тяжёлые металлы; загрязнение почв; геохимическая оценка.

Геохимия почв урболандшафтов в заметной степени отличается от геохимии природных и агроландшафтов, что связано с существенно большим техногенным влиянием в городских условиях [1]. Строительные работы, накопление культурного слоя, прокладка коммуникаций (наземных и подземных), выбросы производства, коммунального хозяйства и транспорта, подсыпка грунта, применение противогололедных реагентов и даже удаление опавшей листвы в парках – всё это существенным образом изменяет естественные геохимические потоки вещества и энергии, протекающие в экосистемах. В результате в городе формируются геохимические аномалии различной степени контрастности в зависимости от размера города, специализации промышленного производства, конфигурации транспортных магистралей и т. д., в городе формируется другая, отличная от природных ландшафтов, геохимическая структура [2].

Для установления техногенного накопления элементов в верхних горизонтах г. Слуцка летом 2020 г. был произведен отбор проб по городу с учётом функциональных зон, размещения промышленных предприятий и транспортной загрузки. Всего было отобрано 50 образцов почв, преимущественно супесчаного гранулометрического состава. Отобранные образцы почв высушивались до воздушно сухого состояния, просеивались через сито диаметром 1 мм, взвешивались, после чего проводилось сухое озоление пробы в муфельной печи при температуре 440–450 °С. После озоления проба охлаждалась в эксикаторе, взвешивалась для определения потерь при прокаливании, и растирались до пудрообразного состояния. Потери от про-

каливания (в основном за счёт органического вещества) составили в среднем 5,2 % (варьирование в пределах от 0,5 до 14,4 %).

Анализ валового содержания Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в почвах производился эмиссионно-спектральным методом на многоканальном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ в дуге переменного тока в НИЛ экологии ландшафтов БГУ.

Результаты анализа почвенных проб представлены в табл. 1. Геохимическая оценка техногенного накопления производилась путём сравнения валового содержания исследуемых элементов их с фоновым содержанием в почвах Беларуси и с установленными санитарно-гигиеническими нормативами (ОДК/ПДК). При этом для Ti и Sn нет утвержденного ПДК/ОДК, а для Sn отсутствуют общепринятые данные по фону для Беларуси.

Таблица 1 – Основные статистические показатели содержания ТМ в почвах г. Слуцка

Показатель	Химические элементы, мг/кг воздушно-сухой почвы, n = 50						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Минимум	1,2	1,8	35	0,28	0,11	154	4,5
Максимум	54,1	51,9	243	2,64	0,83	1012	18,7
Среднее	4,3	4,7	110	1,18	0,31	475	9,5
Медиана	2,6	3,4	98	1,18	0,27	456	9,1
Коэффициент вариации (V), %	178,7	149,1	44,5	46,3	50,5	40,8	31,2
Фон [3, 4]	13	12	247	20	–	1562	36
ПДК/ОДК [5]	33	32	1 000	20	–	–	100
Ошибка средней арифметической	1,08	0,99	6,9	0,08	0,02	27,4	0,42
Экссесс	38,31	44,20	1,14	–0,14	1,86	0,96	0,54
Асимметричность	5,93	6,48	1,22	0,49	1,31	0,89	0,69

При сравнении с данным Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) за 2010 г., приведённым в табл. 2 [6], видно, что средние значения Cu, Pb, Mn и Ni меньше, чем в 2010 г., при этом минимальные значения ниже для всех данных элементов, а для Cu и Pb максимальные значения заметно выше.

Таблица 2 – Валовое содержание ТМ в почвах г. Слуцка по данным НСМОС [6]

Показатель	Cu	Pb	Mn	Ni
Минимум	4,8	5,3	98	3,0
Максимум	18,7	25,6	306	6,6
Среднее	8,8	12,3	192	4,9

Анализ данных по содержанию элементов показал существенные отличия в характере накопления Cu и Pb от накопления других исследуемых элементов, что, в первую очередь, видно по коэффициенту вариации, принимающего аномальные значения для Cu и Pb, в то время как для остальных элементов характерно только высокое варьирование. Распределение Cu и Pb отличается ярко выраженной асимметрией, вызванной наличием одиночных проб, превышающих ПДК/ОДК и сильно выделяющихся из общей выборки, при удалении данных значений из выборки распределение приобретает вид более схожий с нормальным. Подобная картина накопления имеет явный техногенный характер и отмечалась нами для других городов Беларуси [7]. Распределение Mn, Ni, Sn, Ti и Cr имеет вид, приближённый к нормальному (за исключением единичных выбросов), превышений ПДК/ОДК не отмечено, максимальные концентрации не достигают фонового для Беларуси, асимметрия выражена слабо, поэтому можно предположить, что техногенный вклад в их накопление относительно небольшой.

Для изучения пространственной неоднородности распределения элементов в пределах города был построен ряд моноэлементных карт. Построение карт производилось программе

ArcGIS 10.7 с использованием модуля Spatial Analyst методом обратно-взвешенных расстояний. Наибольший интерес представляют карты содержания Cu и Pb, поскольку они могут указать на возможные источники техногенного загрязнения.

Среднее содержание Cu в почвах г. Слуцка невысокое – 4,3 мг/кг, что в 3 раза ниже фоновое для Беларуси (13 мг/кг), при этом медианное значение ещё ниже – 2,6 мг/кг, столь заметная разница обусловлена наличием двух пиков накопления, достигающих 1,6 ПДК. Медианное значение в данном случае для Cu является более типичным, потому может использоваться в качестве местного фона, его двухкратное превышение может указывать на возможное техногенное накопление этого элемента, подобное превышение наблюдается редко – у 12 % отобранных проб. Данные области хорошо заметны на рис. 1 (зона накопления более 6 мг/кг), наибольшее пятно наблюдается вблизи автостоянок у Слуцкого рынка, что может указывать на возможную роль автотранспорта в загрязнении почвенного покрова.

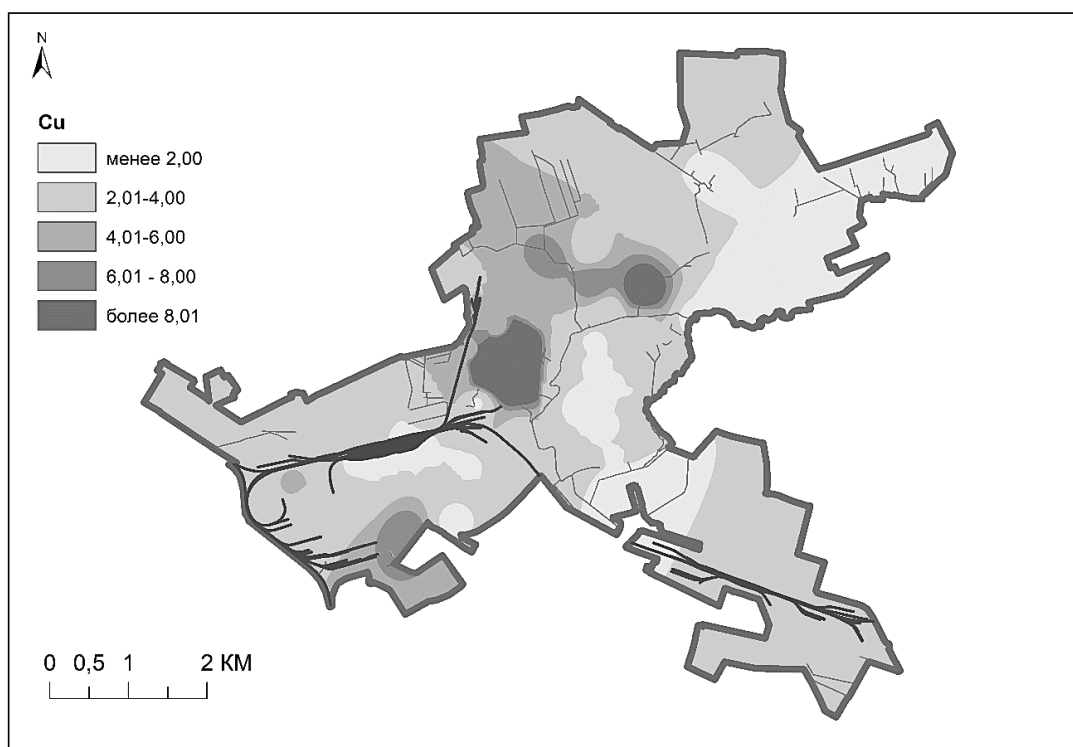


Рисунок 1 – Накопление Cu в почвах г. Слуцка, мг/кг

Характер накопления Pb в почвах г. Слуцка имеет некоторую схожесть с Cu (рис. 2), среднее содержание 4,7 мг/кг, также заметно ниже фоновое для Беларуси (12 мг/кг), а медианное – заметно ниже среднего арифметического. В целом распределение Pb в почвах города довольно однообразное, но особо выделяется одиночный пик накопления, с превышением ПДК в 1,6 раза, выявленный недалеко от административного центра города, по ул. Копыльская вблизи ОАО «Слуцкая мебельная фабрика». Двухкратное превышение медианного содержания Pb (характерно для 12 % проб) отмечается в районе Слуцкого рынка.

Для почвенного покрова г. Слуцка характерно пониженное содержание Mn, максимальное накопление не достигает фона, целом характер распределения элемента близок к нормальному. Техногенное накопление Mn выражено слабо, хотя отмечается некоторая схожесть Cu и Pb, относительное накопление (по сравнению с медианой) можно отметить для территории севернее центра города (в районе ул. Пионерской), в районе Слуцкого рынка и в промзоне на западе города.

Обеспеченность верхних горизонтов почв г. Слуцка Ni можно оценить как низкую, существенных признаков техногенного загрязнения этим элементом не выявлено, что подтверждается совпадением средней и медианной величины, низкой асимметрией и близким к нормальному распределению элемента. Относительное накопление отмечается для западной части города в промзоне.

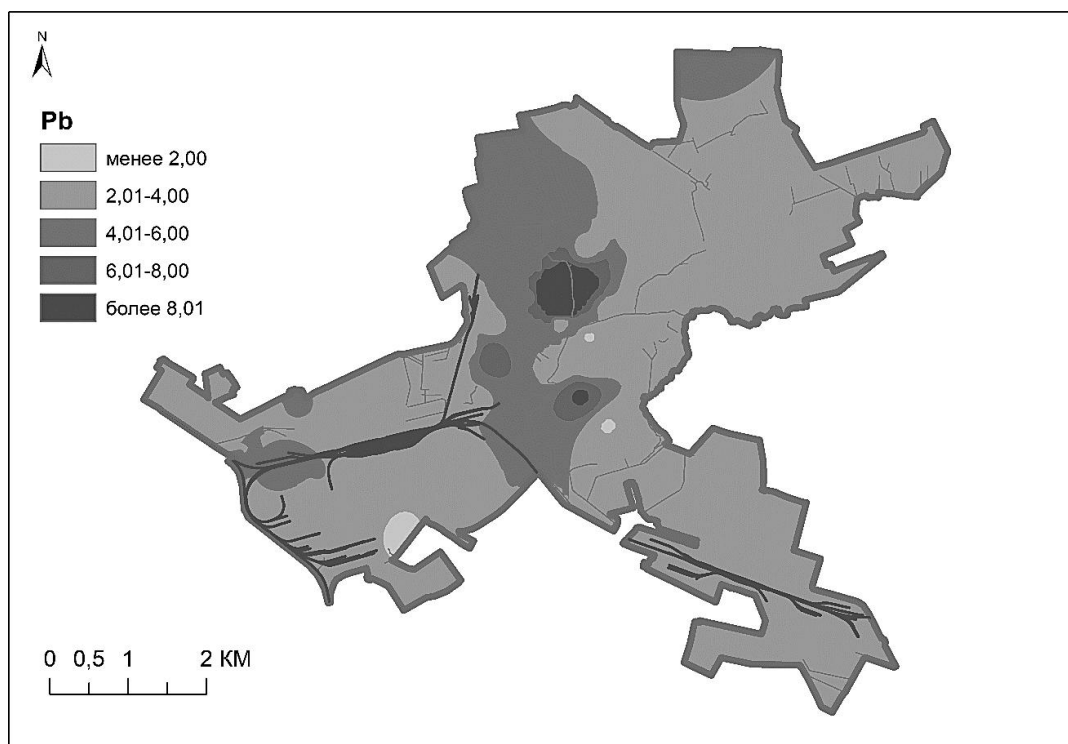


Рисунок 2 – Накопление Pb в почвах г. Слуцка, мг/кг

Почвенный покров г. Слуцка характеризуется очень низким уровнем накопления Sn, на границе чувствительности метода, среднее содержание близко к медианному, относительное накопление отмечено в отдельных точках близи центра города и на северо-востоке.

Накопление Ti почвах имеет определённые черты сходства с распределением Mn (это же отмечалось нами и для г. Жодино [8]) – схожие коэффициенты вариации и тип распределения. Среднее содержание титана ниже фонового, превышения фона не установлено. Отличия в накоплении Ti в большей мере обусловлены генезисом почвообразующей породы, чем техногенным влиянием [9], небольшие пятна накопления замечены на западе и недалеко от центра города.

Cr в почвах г. Слуцка распределяется с большей степенью однородности, чем остальные исследуемые элементы, поскольку имеет наименьший коэффициент вариации – 31,2%. Среднее арифметическое и медиана близки, накопление заметно ниже фонового, в пространственном распределении наблюдается пятнистость и сходство с накоплением Sn.

Быстро оценить форму распределения и возможность наличия корреляционных связей между содержаниями элементов в почве можно по рис. 3. Заметно наличие средних по тесноте линейных связей между Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в почвах г. Слуцка. При использовании степенной линии тренда установлена сильная прямая нелинейная корреляционные связи между Sn и Cr ($r = +0,71$) и для Ti и Mn ($r = +0,75$). Наличие данных связей показывает возможность наличия схожих факторов накопления для этих элементов в верхних горизонтах г. Слуцка.

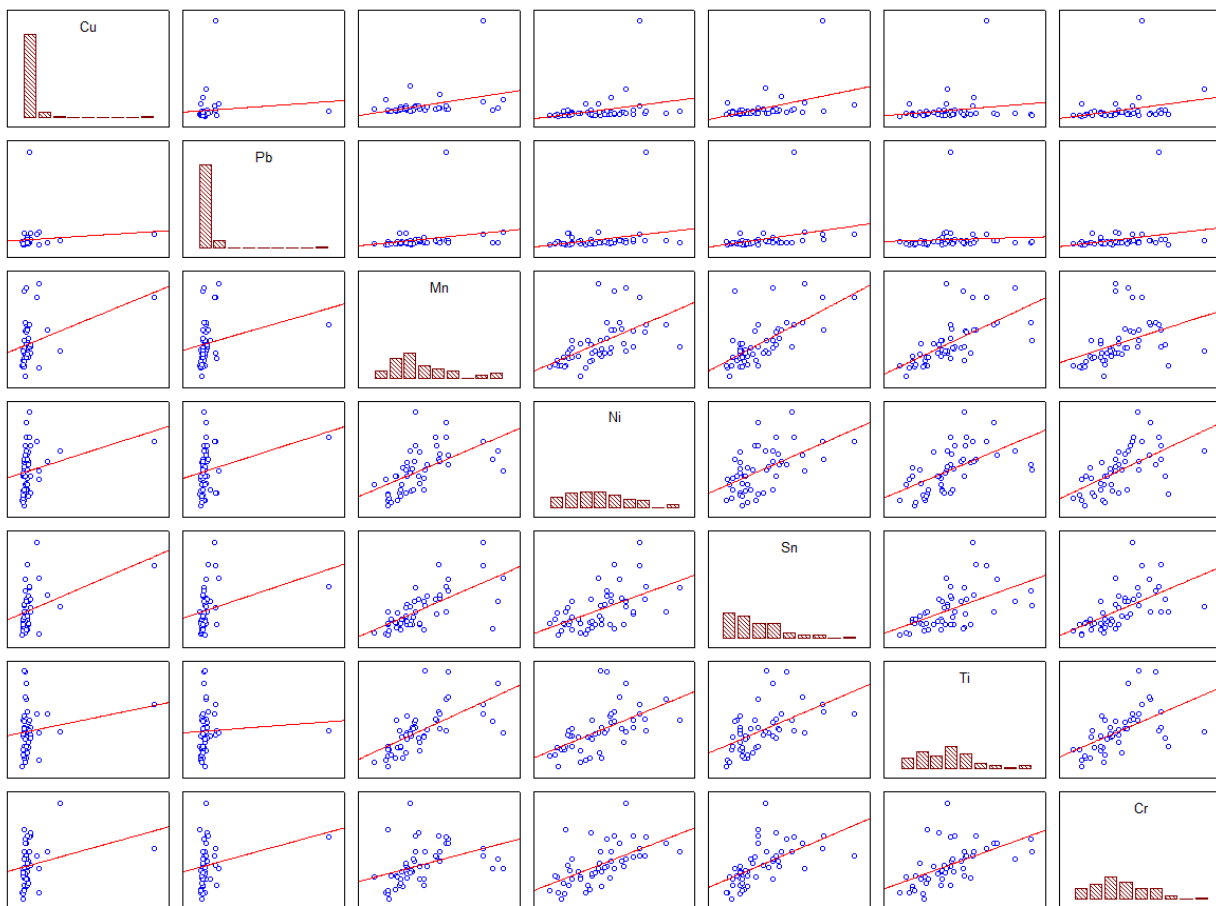


Рисунок 3 – Матрица связей между Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в почвах г. Слуцка

Библиографические ссылки

1. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск : Минсктипроект, 2004.
2. Карпиченко А. А. Геохимическая структура основных родов ландшафтов Беларуси // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2010. № 2. С. 83–86.
3. Петухова Н. Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Минск : Наука и техника, 1987.
4. Петухова Н. Н., Кузнецов В. А. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 26, № 5. С. 461–465.
5. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Минск, 2004.
6. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2010. Минск, 2011.
7. Чертко Н. К., Карпиченко А. А., Лебедев Д. О. Химия почв города Гомеля // Здоровые почвы – гарант устойчивого развития: сб. материалов II науч.-практ. конф. с международ. участием, Курск, 14 мая 2019 г. Курск : Курск. гос. ун-т, 2019. С. 95–99.
8. Карпиченко А. А., Чертко Н. К. Особенности накопления титана, марганца и хрома в поверхностных горизонтах почв г. Жодино (Беларусь) // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А. И. Перельмана): докл. Всеросс. науч. конф., Москва, 18–20 окт. 2016 г. М.: Географ. фак. МГУ, 2016. С. 247–250.
9. Лукашѐв О. В., Жуковская Н. В., Лукашѐва Н. Г. Ассоциации химических элементов в почвенном покрове природных и урбанизированных территорий // Вестн. БГУ. Серия 2, Химия. Биология. География. 2016. № 1. С. 46–55.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВОДОСБОРА р. ТИСА *

Д. Л. Творонович-Севрук, О. В. Лукашёв

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; 375297634959@yandex.ru, lukashev@bsu.by

Дана общая геоэкологическая характеристика северной части водосбора р. Тиса. Использовались данные из открытых источников и материалы дистанционного зондирования Google Earth® максимально доступного временного диапазона. Особенности системы хозяйствования и сочетание геологических факторов обуславливают значительную чувствительность геологической среды территории к инцидентам техногенного и природного генезиса. Выделены основные направления дальнейшего геоэкологического изучения рассматриваемого региона: 1. Взаимосвязь поступления химических элементов и развития гидрохимических аномалий и гидрогеохимической зональности в водосборе р. Тиса с геологическим строением региона; 2. Вариации интенсивности выветривания пород горной части водосбора; 3. Поступление в водосбор рудничных и неочищенных вод горнопромышленных районов; 4. Характер локализации населённых пунктов на водосборе, системы канализации и экологические проблемы; 5. Вырубка лесов в Закарпатье и потенциальные гидрологические и климатические риски; 6. Изменение площадей государств на приграничье в результате эрозионно-аккумулятивной деятельности рек естественного характера.

Ключевые слова: аллювий; водосбор; геохимия; дифференциация вещества; мониторинг; техногенез.

Северная часть водосбора р. Тисы, площадью более 50 000 км², включает в себя территорию юго-запада Западных и Восточных Карпат, а также север Среднедунайской равнины [1–8]. В данном регионе примыкают друг к другу Украина, Венгрия, Румыния и Словакия, что определяет наличие в указанном сегменте водосбора р. Тисы процессов трансграничного переноса. Геологическая среда рассматриваемого региона неоднородна, в верхней части водосбора Тисы расположены горные системы, а в средней и нижней – равнинные пространства, сложенные толщами древнего аллювия. На территории проявляются различные гипергенные геохимические процессы – от выветривания материнских пород до переноса и аккумуляции его продуктов в промежуточном бассейне стока (вдхр. Кишкёр). Система хозяйствования и сочетание геологических факторов обуславливают значительную чувствительность геологической составляющей геологической среды региона к инцидентам техногенного и природного генезиса. Кроме того, горный и равнинный режимы рек существенно влияют на распределение химических элементов в современных обстановках гипергенеза (рис. 1).

В настоящей работе под термином «геоэкологическое изучение» понимается комплекс научно-исследовательских работ, использующих методы дистанционного зондирования, сравнительного анализа и геохимического исследования покровных отложений региона при сопоставлении особенностей геологического строения, системы хозяйствования и населённости рассматриваемой территории. В качестве информационной базы использовались материалы дистанционного зондирования региона Google Earth® максимально доступного временного диапазона [1] и данные из открытых источников [2–13]. На основании проведённых наблюдений выделялись основные направления дальнейшего геоэкологического изучения территории.

* – Расширенный вариант статьи, дополненный иллюстративным материалом.

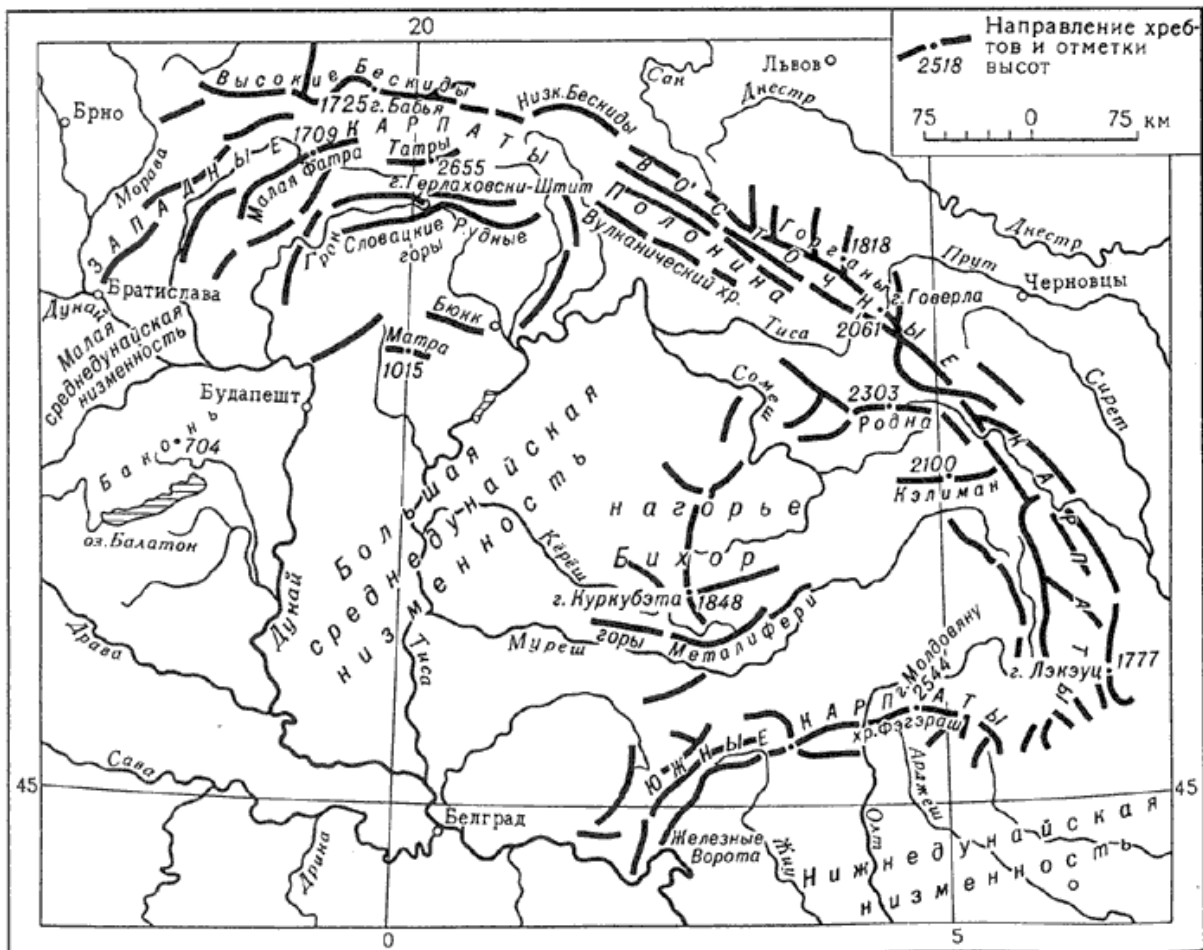


Рисунок 1 – Водосбор р. Тиса в контексте Черноморского бассейна [6]

Река Тиса является наиболее протяжённым (965 км) левым притоком р. Дунай, общая площадь водосбора составляет 153 000 км². Исток реки расположен на юго-западной периферии Карпат, разница между высотой истока и устья достигает 380 м [1–9]. По особенностям рельефа верховье водосбора р. Тисы является средневысокой горной страной, образованной сочетанием субпараллельных горных хребтов северо-западного и юго-восточного простирания с вертикальным расчленением рельефа до 2 000 м. В пределах региона развита высотная поясность – зоны от умеренной до холодной с соответствующей им растительностью. Реку Тиса по режиму питания и морфологии можно отнести к средиземноморскому типу, для которого характерно неравномерное распределение осадков на протяжении года, выражающееся в паводках, обусловленных зимним выпадением осадков и их таянием, а также летним межением при сокращении стока [5–7, 9, 10]. Данная особенность питания усложняется особенностями геологического строения зоны замедленного и активного водообмена.

Для территории характерно значительное эрозионное расчленение рельефа. Водосборы притоков имеют вытянутые продолговатые очертания, высоты водосборов достигают 1 200 м, средние уклоны до 400 ‰, ширина бассейнов составляет 10–35 км. Конфигурация речной сети р. Тиса в пределах Карпат близка к древовидной. Для водосборов верхнего течения р. Тиса типичны отчётливо выраженные V-образные профили речной долины в верховье и U-образные в нижнем и среднем течении. На горных участках рек долина более похожа на ущелье с каменистым скальным дном и отвесными прилегающими склонами (рис. 2).



Рисунок 2 – Каменистое скалистое дно рек водосбора р. Тисы

Впадины водосборов располагаются между горными хребтами и сформированы снесёнными со склонов продуктами выветривания, конусами выноса и толщами, образованными деятельностью постоянных и временных водных потоков. Горные склоны верхнего течения водосборов покрыты преимущественно древесной растительностью. Водосборы рек региона образованы бассейнами притоков, прилегающими друг к другу, каждый из которых локализуется в области питания, расположенной преимущественно в пределах горных хребтов местного простираия. Локализованные между горными хребтами речные долины р. Тиса и притоков в верхнем течении выполняются конусами выноса и аллювием (русловым и пойменным), ширина долин изменяется от 0,1 до 3,5 км [1–4] (рис. 3).



Рисунок 3 – Дно речных долин притоков р. Тиса [1]

Для рек водосбора типично доминирование руслового аллювия в верхнем течении и возрастание доли пойменного и старичного – в нижнем. В нижнем течении реки протекают в долинах, выполненных перстративным и констративным аллювием Среднедунайской равнины, сформированным геологической деятельностью Прадуная.

Геологическое строение. Верхняя часть водосбора р. Тисы – источника поступления химических элементов в процессы их региональной миграции – располагается на юго-западной периферии Восточно-Европейской платформы в области с выраженным геосинклинальным тектоническим режимом, последняя активизация которого совпала с альпийской эпохой складчатости.

Карпаты сложены породами докембрия, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Докембрийские и палеозойские образования имеют ограниченное распространение и представлены осадочно-метаморфическими породами – слюдяными и гранатовыми сланцами, кварцитами. Наибольшее распространение в пределах Карпат имеют меловые и палеогеновые образования. Отложения мела сложены песчаниками, аргиллитами, мергелями и известняками мощностью до нескольких сотен метров. Отложения палеогена представлены флишевыми формациями (в виде переслаивания песчаников, аргиллитов, алевролитов, реже – туфов или эффузивных пород), мощности которых достигают нескольких сотен метров. Четвертичные отложения Карпат образованы ледниковыми, флювиогляциально-аллювиальными и элювиально-делювиальными отложениями. Ледниковые и флювиогляциально-аллювиальные образования представлены моренами и древними речными террасами. В пределах Карпат наиболее распространены элювиальные и делювиальными образования глинистых и раздробленных коренных пород.

Процессы эндогенной металлогении Карпат обусловлены интрузивным и эффузивным магматизмом. Для региона характерна тесная геохимическая связь покровных отложений с коренными породами. Мощность рыхлой зоны коры выветривания достигает 1–10 и более метров [2–5]. Наибольшие различия в составе покровных отложений проявляются в их тонкодисперсных составляющих. В большинстве случаев делювий тесно связан с коренными образованиями, что обуславливается его малой подвижностью по причине укрепления горных склонов растительностью. Глинистые минералы меловых и палеогеновых отложений отличаются большим постоянством химического состава по всей территории независимо от фациальных условий осадконакопления. Данные минералы представлены в основном гидрослюдами с включениями тонкодисперсного кварца, монтмориллонита и хлорита. Существующая в Карпатах высотная поясность и соответствующие им климатические зоны определяют особенности дифференцирования химических элементов, а также развитие разнообразных геохимических ландшафтов [5–11].

Геохимия ландшафтов. Процессы выветривания в ландшафтах рассматриваемого водосбора наиболее выражены в Карпатах, где выделяются две основные группы ландшафтов, отражающие контрастность геохимических условий среды гипергенной миграции металлов: а) ландшафты на кислой коре выветривания; и б) ландшафты на переходной от кислой к карбонатной коре выветривания. В регионе преобладают геохимические ландшафты с кислым типом гипергенных процессов, которые охватывают более 80 % территории. Вторая группа распространена в области развития вулканических серий Выгорлат-Гутинского хребта [8–11].

Для почвенного покрова различных ландшафтно-геохимических областей характерна достаточно чёткая унаследованность его геохимических особенностей от состава материнских пород и взаимосвязь с биогенным накоплением химических элементов. Влияние растительности проявляется в: росте интенсивности выветривания горных пород и минералов; участии органических веществ в процессах гипергенной миграции (образование металлоорганических комплексов); ускорении непосредственного извлечения химических элементов из пород субстрата и возврате их в почву в формах, способных к дальнейшей миграции в зоне гипергенеза [3, 8–11].

Для ландшафтно-геохимических условий среднегорского пояса верхнего течения водосбора р. Тиса характерны средневыщелоченные и частично открытые ореолы рассеяния химических элементов.

В аллювиальных отложениях, расположенных ниже полиметаллических месторождений горной части региона пониженная геохимическая контрастность вторичных потоков рассеяния объясняется интенсивным разложением минералов и сильным разбавлением фильтрующих растворов (например, зона Раховского полиметаллического месторождения, рис. 4) [3, 8–11].

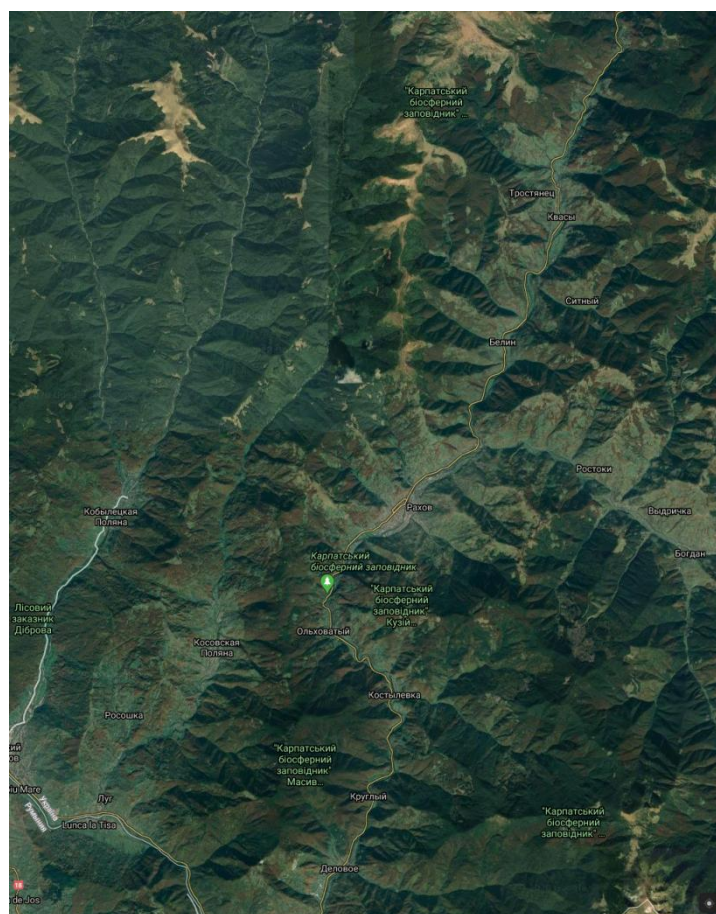


Рисунок 4 – Участок долины в пределах Раховского полиметаллического месторождения [1]

Гидрогеохимические аномалии. Сложное геологическое строение, сильно проявившаяся разрывная тектоника, глубокое расчленение рельефа Карпат определяют отсутствие протяжённых и достаточно выдержанных водоносных горизонтов. В регионе развита мощная зона активного водообмена, достигающая гл. 500–600 м. Наиболее мощный водоносный горизонт образуется в области максимальной трещиноватости на глубинах до 30–40 м от дневной поверхности. Поступающее в водоносные горизонты значительное количество атмосферных осадков интенсифицирует протекание глубинных процессов химического и биологического выветривания. В интенсивности инфильтрации метеорных вод отмечается чёткая зональность, связанная с ростом количества атмосферных осадков с увеличением абсолютной высоты – от 600 до 1 650 мм/год при уменьшении величины испарения от 300 до 60 мм/год. Модуль среднегодового стока с Карпат изменяется от 5 л/(с · 1 км²) у основания склонов до 30–60 л/(с · 1 км²) в высокогорье [9–13].

Развитая в высокогорье зона активного водообмена, достигающая гл. 900 м, характеризуется преимущественно гидрокарбонатно-кальциевым и реже гидрокарбонатно-кальциево-магниевым типами. Особенности дифференциации состава вод обуславливаются химизмом выветриваемых пород, что более ярко проявляется в составе поверхностных вод. Химический состав вод в большой степени определяется спецификой протекания процессов выветрива-

ния. В пределах Карпат выделяются окислительная и восстановительная глеевая геохимическая обстановки. Глеевые обстановки развиты на более высоких частях горных хребтов (выше 1 600 м), выклиниваясь в большинстве случаев при переходе к хвойнолесному поясу. Также глеевые обстановки развиты на основаниях склонов и в межгорных областях. Для складчатых Карпат характерна окислительная обстановка, обусловленная развитой трещиноватостью и отсутствием контакта с почвенным покровом. Отдельной гидрохимической провинцией является Турьянская и периферия Выгорлат-Гутинской ландшафтно-геохимических областей, локализованных вдоль глубинных разломов на границе складчатых Карпат и Закарпатского внутреннего прогиба. Для данного региона характерна выраженная гидравлическая связь с напорными подземными водами разломов [3, 8–11].

Гидрогеохимические аномалии в рассматриваемом регионе, как правило, проявляются в горных частях водосбора. Повышенное содержание химических элементов можно обнаружить в источниках, о чём свидетельствуют данные опробования трещинно-грунтовых вод, дренирующих интрузии серпентинизированных диабазов и серпентинитов с никель-кобальтовым оруденением [2–4, 8–11]. Образование такого рода аномалий может объясняться поступлением трещинно-грунтовых вод из застойных областей подземного выщелачивания рудосодержащих пород, особенно при малой мощности осадочного чехла. В условиях гумидного климата обогащённые растворёнными рудными элементами потоки быстро разбавляются грунтовыми и метеорными водами до среднего по региону значения. В отличие от трещинно-грунтовых вод зоны активного водообмена, воды тектонических нарушений глубинного заложения имеют более длинные пути циркуляции и обширные области питания, что обуславливает их обогащение многочисленными компонентами выщелачивания и накопления в рассолах, и позволяет рассматривать их как естественные гидрогеохимические аномалии. Наиболее развита гидравлическая связь пресных инфильтрационных вод с глубинными высокоминерализованными подземными водами, циркулирующими по разломам в районах максимальной тектонической активизации на сочленении Складчатых Карпат и Закарпатского прогиба (так в некоторых источниках встречаются повышенные концентрации Sr и Mn – 70,4 и 204,0 мкг/дм³ соответственно). Наиболее активно выносятся в растворённом виде Sr, Mn, Cu, Zn. Для гидрохимической зональности углекислых подземных вод Карпат характерно пространственное совпадение областей разгрузки высокоминерализованных вод с продольными региональными разломами глубинного заложения [2–4, 8–11].

Горнопромышленные районы. Добыча полезных ископаемых на рассматриваемой территории ведётся более 2 000 лет. Общим для всего региона является приуроченность большинства горнопромышленных районов, где разрабатываются месторождения полезных ископаемых эндогенного генезиса, к периферийным частям водосбора – горным системам Восточных Карпат, Словацких рудных гор, нагорья Бихор и др. Структура горнодобывающей промышленности в настоящий момент разнообразна, присутствуют крупные предприятия (горнопромышленный район Бая-Маре), рудники провинции Санта-Маре (Румыния), а также средние и мелкие предприятия (рис. 5–10).

На периферийных частях водосбора также распространены небольшие работающие, законсервированные и заброшенные горнодобывающие и обогатительные предприятия (например, рудник Нижне-Слана, р. Шайо, рис. 9).

Для данной территории весьма типичны каменоломни и карьеры по добыче строительного камня, производство строительных и отделочных материалов местного значения (рис. 10).



Рисунок 5 – Конфигурация долины р. Сомеш в горнопромышленном участке региона Сату-Маре [1]



Рисунок 6 – Отстойники горнопромышленного района Сату-Маре [1]



Рисунок 7 – Переработка аллювия в водосборе р. Тиса [1]



Рисунок 8 – Каменоломни водосбора р. Тиса [1]



Рисунок 9 – Рудник Нижне Слана [1]



Рисунок 10 – Каменоломни Lom Gombasek [1]

В центральной, прирусловой части водосбора р. Тисы также эксплуатируются месторождения экзогенного генезиса – в основном это производство строительных материалов, месторождения благородных металлов в аллювиальных россыпях (добыча промышленным и кустарным способом; последний особенно развит в Румынии). Общим для всех месторождений эндогенного и экзогенного происхождения, находящихся и выведенных из эксплуатации,

является дренирование горных выработок и отходов производства грунтовыми и рудничными водами с поступлением в геологические формации водосбора. В настоящее время рассматривается перспектива разработки Раховского полиметаллического месторождения, расположенного в регионе с высоким рекреационно-туристическим потенциалом. Планируется добыча руды на территории Украины и её вывоз для обогащения в Румынию, что создаст значительную экологическую напряжённость в верхнем течении р. Тиса (рис. 4).

Канализация и водоотведение. В пределах региона системы водоотведения и очистки вод обустроивались по разным направлениям. Для территории Украины характерно развитие и функционирование систем водоочистки, унаследованных со времён СССР. Мелкие населённые пункты повсеместно не имеют развитой сети канализации. Малые и средние города в странах ЕС обладают схожими системами очистки сточных вод. При сбросе условно чистых сточных вод необходимо учитывать процессы трансграничного переноса веществ с верховий водосбора в низовье, строение геологических формаций, в частности, проницаемость осадочной формации Прадуная и возможные перетоки между водоносными горизонтами (рис. 11).



Рисунок 11 – Очистные сооружения вблизи г. Деж [1]

Экологические проблемы региона. Материалы дистанционного зондирования показывают на увеличение в период 2008–2018 гг. интенсивности сплошной вырубке лесов на участках горных склонов, удалённых от населённых пунктов, тогда как для лесных территорий смежных государств данный вид хозяйственной деятельности нетипичен. В результате вырубки лесов происходит повреждение почвенного покрова водосборов, увеличивается интенсивность выветривания покровных отложений, отмечаются площадная деградация почвенного покрова, проявление склоновых процессов. Указанные изменения окружающей среды в настоящий момент имеют локальный характер, однако тотальное уничтожение закарпатских лесов (рис. 12) может привести к последствиям регионального уровня, таким как изменения климата, гидрохимии речных вод, а также стока рек и др. [1–4, 5–13].

По данным дистанционного зондирования 2004–2017 гг., на приграничных территориях в верхнем течении р. Тисы типичные для водосбора русловые процессы меандрирования привели к изменению конфигурации береговой линии с продвижением русла от Украины к Румынии на 20–70 м и более, что существенно для данного района, учитывая узость речных долин (ширина 0,2–2 км). Примером проявления данных эрозионно-аккумулятивных процессов в долине Тисы (рис. 13) является устье р. Вишоу [1, 3].

Деятельность горно-обогатительных предприятий создаёт значительные риски для речных систем региона – ярким примером является разовый сброс цианида из шламохранилищ (рис. 14), произошедший в горнопромышленном районе Бая-Маре в 2000 г.

Менее выраженный, но постоянный ущерб окружающей среде наносит разработка месторождений в пределах речных долин и равнинных участков водосбора.

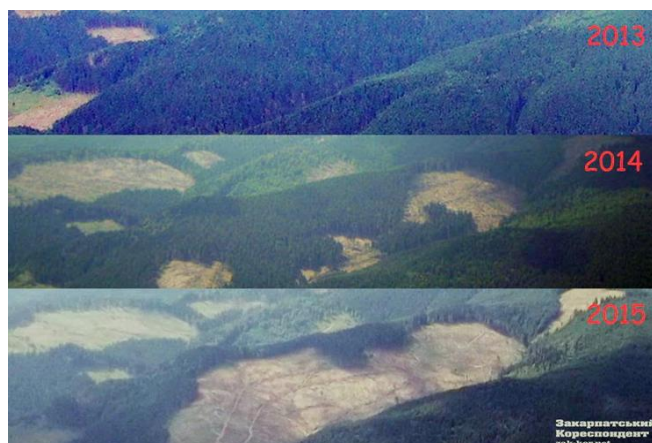


Рисунок 12 – Обезлесивание Карпат [1]

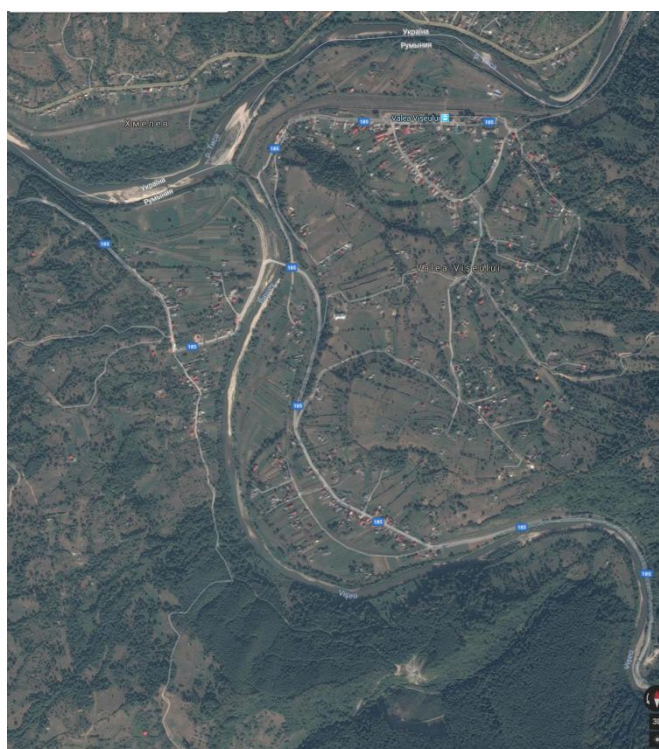


Рисунок 13 – Участки проявления данных эрозионно-аккумулятивных процессов в долине Тисы (устье р. Вишоу) [1]



Рисунок 14 – Экологические последствия в Бая-Маре (2000 г.)

В регионе проводятся мероприятия, направленные на контроль стока, широко распространены малые ГЭС и водохранилища. Для равнинной части водосбора р. Тиса характерны гидротехнические работы по изменению конфигурации русла притоков основной реки, направленные на их спрямление, с целью вовлечения в хозяйственную деятельность значительных площадей стариц и поймы.

На периферии региона, окаймлённой горными хребтами, широко развито сельское хозяйство, разрабатываются участки преимущественно мелкоконтурного типа, оказываются туристическо-рекреационные услуги (рис. 15, 16).

Населённые пункты здесь локализуются преимущественно в пределах речных долин, либо в непосредственной близости к ним. Более равномерно поселения распределяются на территории с менее выраженным расчленением рельефа и равнинной территории, особенно в Среднедунайской равнине. Увеличение плодородности почв приводит к росту численности населения в водосборе, хорошим примером является венгерская часть Среднедунайской равнины с плотностью населения более 80 чел/км² (рис. 17).



Рисунок 15 – Долина верхнего течения р. Тиса [1]

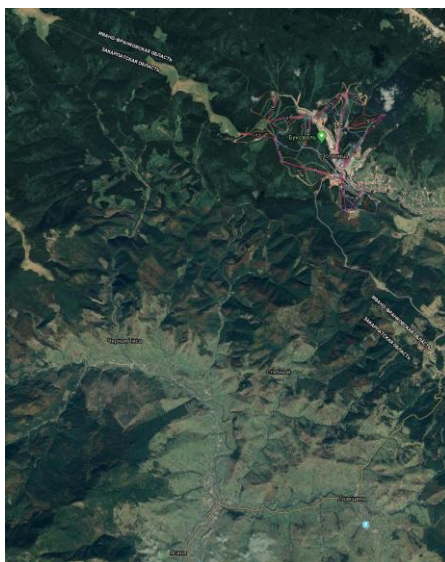


Рисунок 16 – Туристическо-рекреационный участок водосбора р. Тиса [1]



Рисунок 17 – Прирусловой участок водосбора р. Тиса, затронутый агротехногенезом [1]

Выводы. На основании проведённого анализа актуальных данных, можно выделить ряд направлений дальнейшего геоэкологического изучения рассматриваемого региона (рис. 18):

- взаимосвязь поступления химических элементов и развития гидрохимических аномалий и гидрогеохимической зональности в водосборе р. Тиса с геологическим строением региона;
- вариации интенсивность выветривания пород горной части водосбора р. Тиса;
- поступление в водосбор рудничных и неочищенных вод горнопромышленных районов;
- характер локализации населённых пунктов на водосборе, системы канализации и экологические проблемы.
- вырубка лесов в Закарпатье и потенциальные гидрологические и климатические риски, в т. ч. нарушение режима водности рек Закарпатья;
- изменение площадей государств на приграничье в результате эрозивно-аккумулятивной деятельности рек естественного характера.

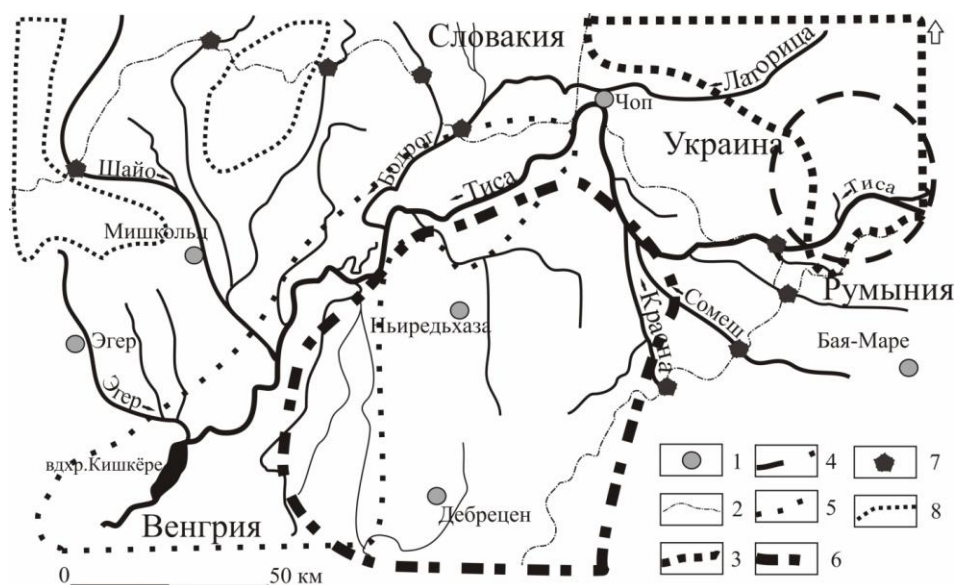


Рисунок 18 – Области развития потенциально неблагоприятных геоэкологических процессов северной части водосбора р. Тиса

1 – крупные индустриальные центры, 2 – государственная граница, 3 – участки с активной вырубкой горных лесов, 4 – область, неблагоприятная для разработки месторождений полезных ископаемых, 5 – область потенциальной экологической напряжённости при трансграничном переносе, 6 – зона возможного перераспределения химических элементов между водосборами притоков р. Тиса, 7 – перспективные участки наблюдения за процессами трансграничного переноса, 8 – участки, благоприятные для ведения производственной деятельности.

Библиографические ссылки

1. Google Earth [Electronic resource] / ©Google Inc. Mountain View, 2018. URL: <https://www.google.com/earth> (date of access: 01.07.2018).
2. Mining and Geological Survey of Hungary [Electronic resource] / ©Mining and Geol. Survey of Hungary. Budapest, 2018. URL: <https://map.mbfsz.gov.hu> (date of access: 01.07.2018).
3. Institutul geologic al României [Electronic resource] / ©IGR. Bucuresti, 2018. URL: <http://www.igr.ro> (date of access: 01.07.2018).
4. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra [Electronic resource] / ©Štátny geologický ústav. Bratislava, 2018. URL: <https://www.geology.sk> (date of access: 01.07.2018).
5. Web-portal of Ukrainian Government [Electronic resource] / ©Cabinet of Ministers of Ukraine., Kiev, 2017. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (date of access: 01.07.2018).
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озёр и расчёты основных характеристик их режима. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Зап. Украина и Молдавия (без бассейна р. Днестра). Л. : Гидрометеиздат, 1978. С. 47–57.
7. Національний атлас України / Под ред. Л. Г. Руденко. Киев, ГНПП Картографія, 2008.
8. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. М.: Изд-во ГУГК при СМ СССР карт. 1978.
9. Суцук Ю. Я. Геохимия зоны гипергенеза украинских Карпат. Киев, Наук. думка, 1978.
10. Баранник А. В., Позняк С. П. Горно-лугово-буроземные почвы (Cambic Umbrisols) Украинских Карпат // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 2. С. 13–21.
11. Папиш И. Я. Дифференциация вещественного состава агрочернозёмов типичных (Haplic Chernozems) Западной лесостепи Украины // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 2. С. 22–30.
12. Снежко С. И., Ободовский А. Г., Лопух П. С. Долгосрочный прогноз стока горных и равнинных рек для оценки их гидроэнергетического потенциала (на примере Украинских Карпат и Беларуси) // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 50–61.
13. Романюк А. Ф., Ярош Е. И., Пикалова С. Д. Формирование химического состава подземных вод Складчатых Карпат, Предкарпатского и Закарпатского прогибов // Проблемы теорет. и регион. гидрогеологии. М. : Изд-во МГУ, 1979. С. 220–223.

УДК 550.3(550.312+550.38)+551.24

СТРУКТУРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ Z И T ВЕЧЕРНЕГОРСКОЙ ПЛОЩАДИ, (ЗЕМЛЯ ЭНДЕРБИ, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)

П. В. Шаблыко

Институт природопользования НАН Беларуси,
ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь

Выполнены построение и анализ Карты районирования аномального магнитного поля Вечернегорской площади (Земля Эндерби, Восточная Антарктида).

Ключевые слова: структурное районирование; магнитное поле; Вечернегорская площадь.

Аномальное магнитное поле в открытых областях, каковым является прибрежная часть Вечернегорской площади, обусловлено глубинными магнитными неоднородностями элементов разломно-интрузивной тектоники – над различными геологическими телами магнитные аномалии фиксируются различной интенсивности и морфологии. Петромагнитные исследования, выполненные по образцам горных пород Восточногорской площади, свидетельствуют об отражении вещественного состава горных пород в магнитных свойствах пород, в том числе подчеркивается контрастность магнитных свойств продуктивных образований и руд. Поэтому в состав процедур геологической интерпретации входят, во-первых, процедура пространственного районирования аномального магнитного поля с разбиением площади исследования на блоки магнитнооднородных по интенсивности и морфологии, и, во-вторых, процедура выявления корреляционно-генетических связей между магнитными аномалиями и вещественным составом горных пород.

Характер магнитных аномалий – их интенсивность (максимальное значение индукции магнитного поля), форма и площадь распространения – имеет непосредственную связь с горными породами исследуемого участка земной коры.

Известно, что наиболее интенсивные аномалии создаются породами, обогащёнными ферромагнитными минералами (железорудные тела, некоторые метаморфические, основные и ультраосновные породы), а аномалии средней интенсивности часто связаны с аналогичными источниками, расположенными на большой глубине, впрочем, как и с основными, кислыми и щелочными породами средней намагниченности.

В районах, где кристаллические породы выходят на поверхность или залегают неглубоко под осадочным покровом малой мощности, как это имеет место на Вечернегорской площади, магнитные аномалии могут достигнуть очень большой интенсивности (десятки тысяч и даже первые сотни тысяч нанотесла). Площадь таких аномалий – от нескольких квадратных метров до десятков и реже сотен квадратных километров.

Построение и анализ Карты районирования аномального магнитного поля Вечернегорской площади. Прежде всего, на Карте аномального магнитного поля (рис. 1) в центральной части Вечернегорской площади чётко выделяется полоса интенсивных отрицательных аномалий северо-западного простирания, разделяющая всю площадь на Северную и Южную полосы положительных аномалий значительной интенсивности.

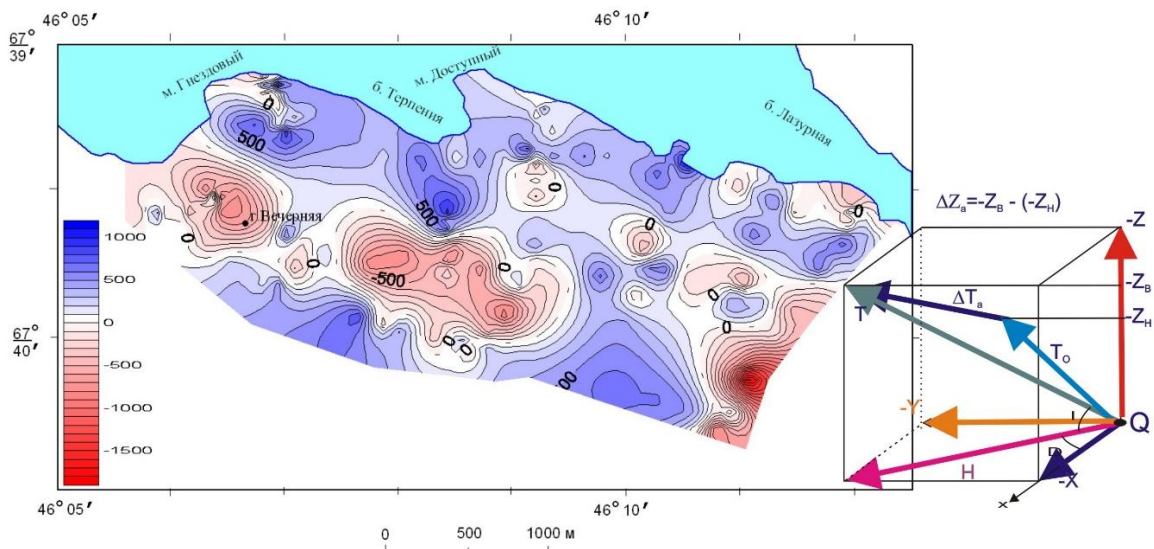


Рисунок 1 – Карта аномального магнитного поля Вечернегорской площади
Красным цветом показаны отрицательные изодинамы, а синим положительные.

Обратимся также к Тектонической карте Земли Эндерби, рис. 2 [1]. Нетрудно увидеть, что Центральная отрицательная полоса аномалий соответствует Южноэндербийской зоне разломов, вся Северная полоса положительных аномалий накладывается на региональный Космонавто-Бугаевский неoarхейский тектонический пояс.

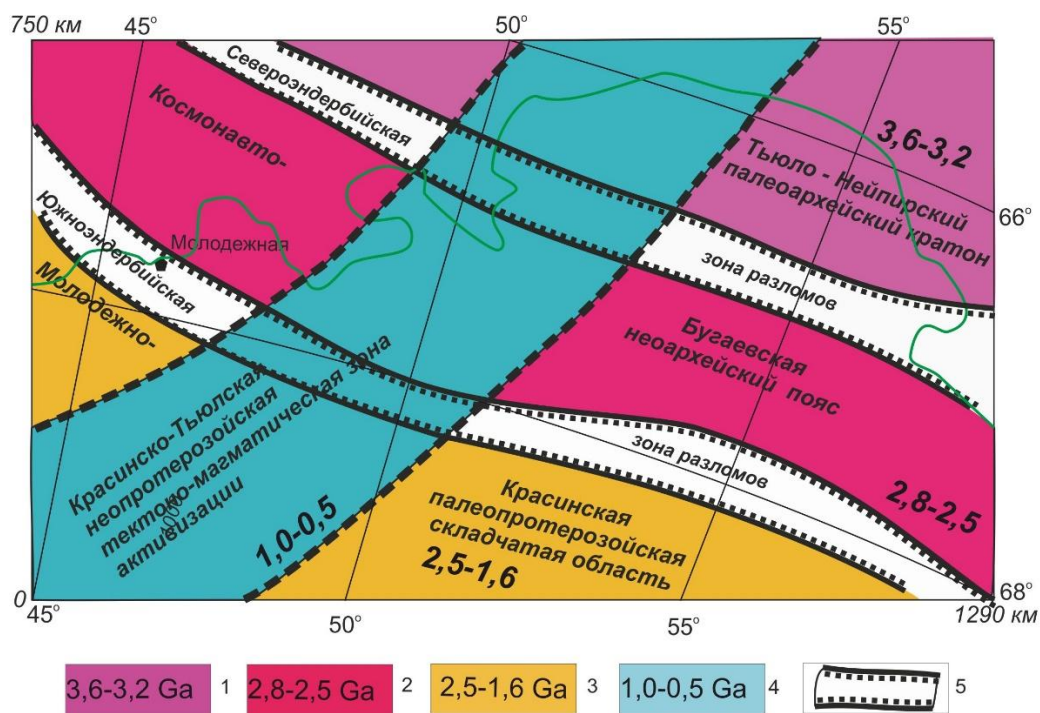


Рисунок 2 – Тектоническая карта Земли Эндерби и её акватории [1]

1 – палеoarхейские; 2 – неoarхейские; 3 – палеопротерозойские; 4 – неопротерозойские структуры; 5 – глубинные разломы; 6 – рельеф поверхности фундамента.

Таким образом, новая детальная Карта магнитных аномалий в масштабе 1 : 25 000 подтверждает ранее сделанные структурно-тектонические выводы по Земле Эндерби и по Вечернегорской площади.

Ниже, на рис. 3, дано районирование аномального магнитного поля Вечернегорской площади с выделением основных блоков «магнитной» однородности.

Как известно, магнитные аномалии чётко фиксируют магнитные неоднородности главным образом вещества кристаллического фундамента и его разломную тектонику; региональная составляющая магнитного поля отражает латеральную магнитную неоднородность нижнего («базальтового») слоя земной коры. Вещество верхней мантии в аномальном магнитном поле не отражается в силу его индуктивного происхождения: при высоких температурах, соизмеримых с температурой точки Кюри, горные породы теряют магнитные свойства.

Картина однородности в геофизическом отношении всякого участка исследуемой территории оценивается по таким признакам поля, как характер морфологии, простирание и интенсивность аномалий; границы между районами определяются по характеру срезания одного поля другим, резким переходом одного типа форм поля в другой; выделенные площади интерпретируются как блоки земной коры различной генерации. При районировании полей обращают внимание на зоны протяжённых по площади высоких градиентов полей, а также цепочки локальных аномалий, интерпретируемые зонами разломов в земной коре.

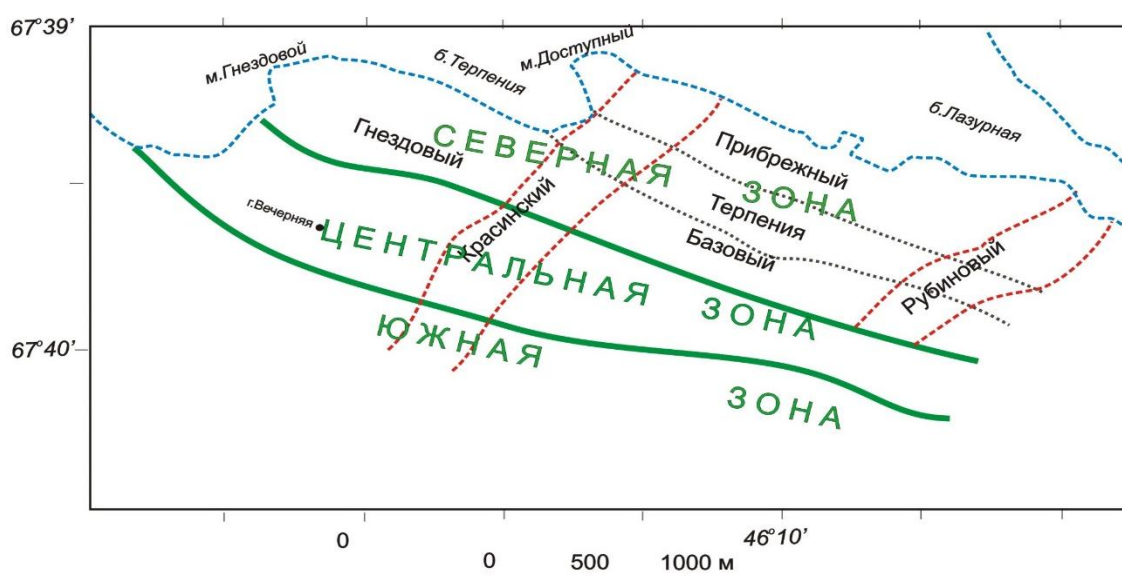


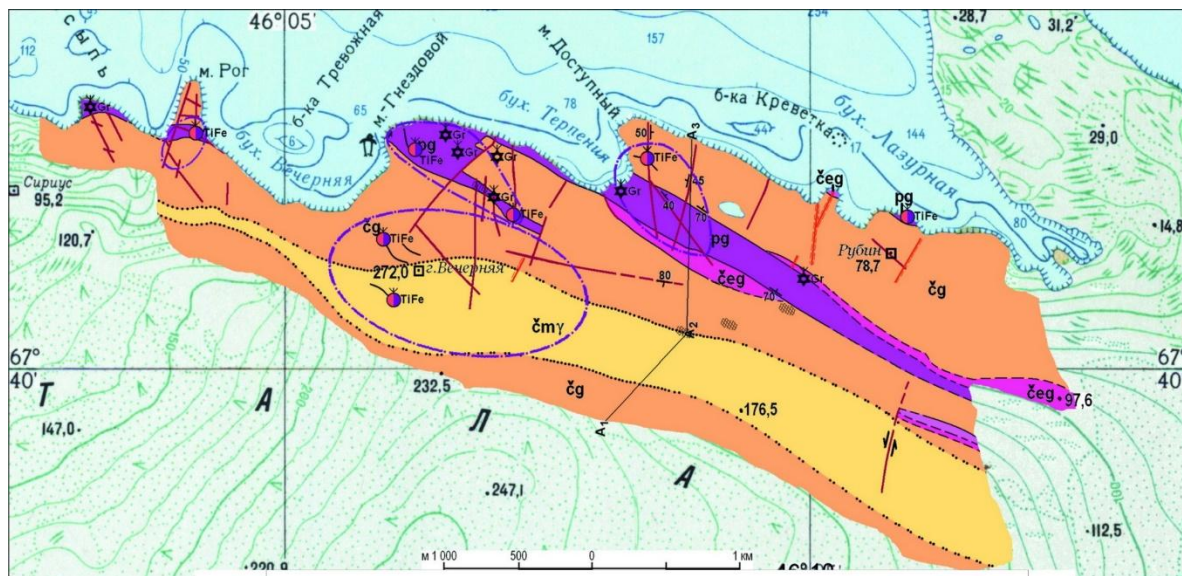
Рисунок 3 – Схема районирования аномального магнитного поля Вечернегорской площади

По этим канонам районирования геофизических полей в процессе районирования аномального магнитного поля Вечернегорской площади выделены три региональных зоны: Северная, Центральная и Южная, каждой из которых присуща своя морфологическая картина, своё специфическое магнитное поле. Все 3 зоны имеют полосовой характер северо-западного простирания. При этом, Центральной зоне отвечает полоса интенсивных отрицательных аномалий, Северной зоне – полоса положительных аномалий разной интенсивности, Южной зоне характерны интенсивные значительные по площади положительные аномалии.

Два аномальных магнитных блока секут региональные зоны однородности в северо-восточном направлении: Красинский и Рубиновый. Первый, представлен цепочкой положительных и отрицательных аномалий, совпадает с Красинско-Тьюльской неопротерозойской тектоно-магматической зоной активизации. Рубиновому блоку отвечает цепочка из двух положительных аномалий, северная из которых оценивается перспективной на открытие полезных ископаемых.

Вся Северная региональная зона разбивается на 4 локализованных блока магнитной однородности: Гнездовый, Прибрежный, Терпения и Базовый – все северо-восточного простирания – вдоль регионального блока магнитной однородности. При этом Гнездовый блок

представлен локальной положительной аномалией значительной площади, совпадающий с Западным перспективным участком. Прибрежный блок характеризуется полосой локальных положительных и отрицательных аномалий незначительной интенсивности. Блоку однородности Терпения отвечает цепочка локальных отрицательных аномалий. В противоположность блоку Терпения для Базового блока характерна цепочка локальных положительных аномалий средней интенсивности.



Карта аномального магнитного поля Z Вечернегорской площади

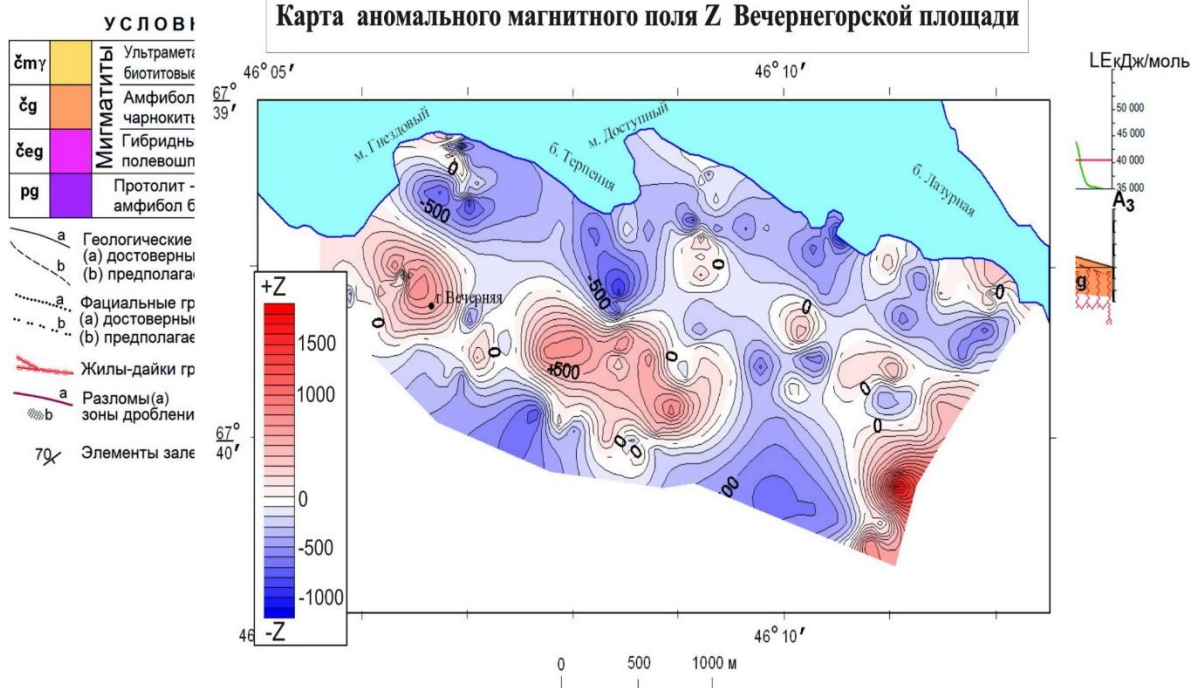


Рисунок 4 – Схема сопоставления Геологической карты О. В. Мясникова с Картой аномального магнитного поля (в варианте Северного полушария) на Вечернегорской площади

Поскольку Красинский блок магнитной однородности прослеживается на площади Красинско-Тьюльской неопротерозойской тектоно-магматической зоны активизации, то, этому блоку придаётся значимость перспективного на полезные ископаемые.

Сопоставляя аномальное магнитное поля Z с Геологической картой (рис. 4), находим, что местоположение и простираение выделяемого на магнитной карте разлома северо-

западного простираения на Геологической карте О. В. Мясникова соответствует распространению ультраметаморфических ПШ-кварц-плагиоклаз-амфиболитовым струйчатым рапакиви-гнейсовым чарнокитам с жильными проявлениями железо-титановой минерализации, для которых характерны высокие значения намагниченности [2].

Как видим, структурное положение рудных зон, выделенных О. В. Мясниковым *только по образцам горных пород*, хорошо вписываются в структуру магнитного поля.

Библиографические ссылки

1. *Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И., Мясников О. В., Данкевич И. В.* Белорусские геолого-геофизические исследования на Земле Эндерби // Сб. ст. по Антарктиде: Беларусь в Антарктике. К 10-летию начала регуляр. науч. и экспедиц. исслед. Минск : Беларус. навука, 2016. С. 102–117.

2. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. М. : Недра. 1976.

УДК 552.3:552.4

ЦИФРОВОЙ АТЛАС ГОРНЫХ ПОРОД ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ (ХОЛМЫ ТАЛА): МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ

О. В. Мясников¹, Л. Р. Федотова², Е. А. Василёнок²

¹Институт природопользования НАН Беларуси,

ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; lolita.fedotova.19990@gmail.com

В ходе Белорусской антарктической экспедиции (БАЭ) 2008–2009 гг. были отобраны образцы основных типов пород, которые можно наблюдать в районе Холмов Тала (Восточная Антарктида). Приведены описание и микрофотографии данных типов пород.

Ключевые слова: плагиогнейсы; чарнокиты; эндербиты; рапакивиподобные чарнокиты; Восточная Антарктида; холмы Тала; цифровая петрография.

Введение. БАЭ 2008–2009 гг. проводилась в рамках государственной целевой программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2007–2010 годы и на период до 2015 года». Геолого-геофизические работы выполнялись на Вечернегорской площади, расположенной в пределах 67038,7' S ÷ 67041,0' S и 46002,7' E ÷ 46014,0' E. В ходе экспедиции было пройдено 20 геологических маршрутов, описано 125 точек наблюдений, отобрано 88 образцов.

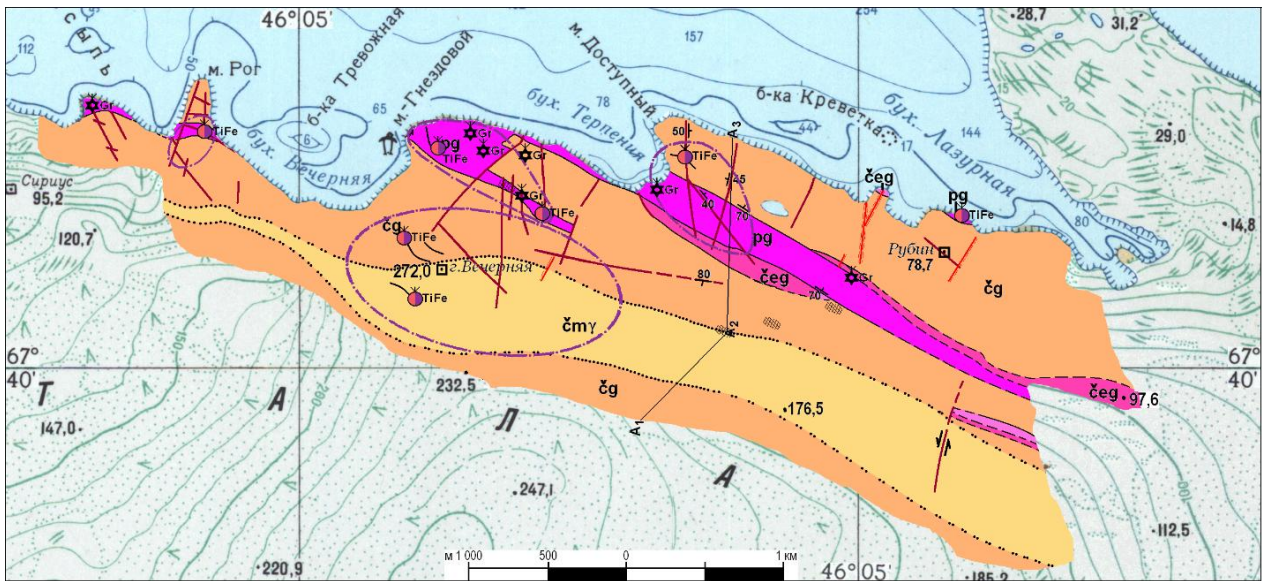
Территория района г. Вечерняя сложена в основном гнейсами и плагиогнейсами чарнокитовой серии. По результатам исследований, территория участка г. Вечерняя развивалась по типу линейного гранитогнейсового купола [1].

Целью работы является создание петрографического атласа горных пород района холмов Тала (Восточная Антарктида).

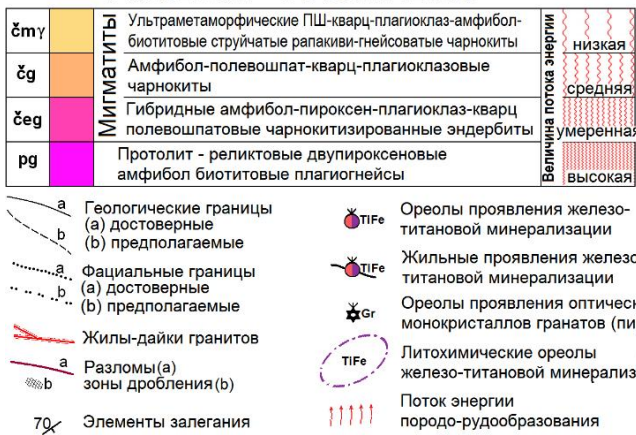
Объектами исследования являются горные породы Восточной Антарктиды (Вечернегорской территории): протолиты (плагионейсы), эндербиты, чарнокиты, рапакивиподобные чарнокиты. В обнажениях холмов Тала были выделены 4 типа основных петрографических, петрофизических и петрохимических неоднородностей (рис. 1): протолит – реликтовые дупироксеновые амфибол биотитовые плагиогнейсы (pg); переходные гибридные амфибол-пироксен-плагиоклаз-кварц полевошпатовые чарнокитизированные эндербиты (ĉeg); вмещающие амфибол-полевошпат-кварц-плагиоклазовые чарнокиты (ĉg); в ядрах – ультрамета-

морфические полевошпат-кварц-плагиоклаз-амфибол-биотитовые чарнокиты (гибриды) струйчатые гнейсовато-рапакивиподобные (џту) [2].

Методы исследования. Исследование данных горных пород выполнено при помощи цифрового микроскопа Nikon Ni-E, в комплектацию которого входят объективы серии CFI Plan Arochromat Lambda, камера серии DS-Fi2, моторизованный столик H101A ProScan™, контроллер PS3J100 Interactive Control Center (ICC). Данная комплектация микроскопа позволяет проводить съёмку шлифов при разных увеличениях в режиме «на просвет» без анализатора и в скрещенных николях; создавать мультимедийные файлы исследования шлифов горных пород для целей дистанционного обучения (виртуальной петрографии), создавать мозаичные цифровые микрофотографии шлифов горных пород и др.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Разрез по линии А1 - А2 - А3

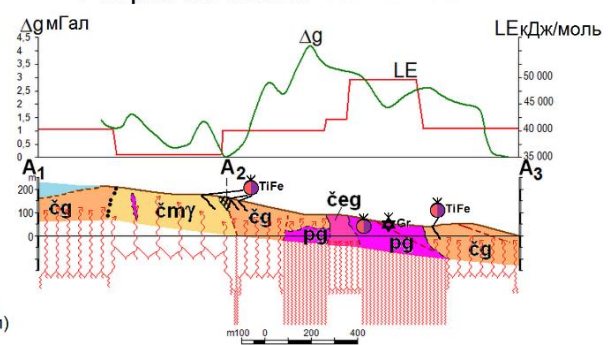


Рисунок 1 – Карта с обозначением возраста и выделенными типами петрографических, петрофизических и петрохимических неоднородностей

Описание горных пород. Возраст биотит-роговообманково-двупироксеновых мелко-среднезернистых массивных плагиогнейсов по диоритовой породе, имеющих подчинённое распространение в центральной и северной части Вечернегорской площади, определён в интервале 1 680 ÷ 1 800 млн лет на западе и 1 965 ÷ 2 275 млн лет в центральной части территории. С учётом метаморфического «омоложения», возраст пород датируется не моложе неогархея (AR₄).

Двупироксеновые амфибол биотитовые плагиогнейсы (pg) (рис. 2) распространены по всей территории исследований в виде линейных тел останцев и ксенолитов среди толщ чарнокитовой серии. Состав, текстура, структура породы говорит о её формировании в гранулитовой фации регионального метаморфизма по интрузивной породе, вероятно, диоритового или габбро-диоритового состава с незначительным изменением в регрессивной амфиболитовой фации. Вся толща плагиогнейсов в той или иной степени минерализована гранатом (пироп), титаномагнетитом и магнетитом.

Текстура породы чаще всего полосчатая (из-за субпараллельной ориентации зёрен Pl, удлинённых субпараллельных сростков Px и Bi).

О степени метаморфизованности породы в шлифах свидетельствуют извилистые контуры зёрен Pl (искажённые их двойники, волнистое погасание). Возможно, они возникли на месте более крупных зёрен, т. е. Pl подвергся перекристаллизации [2].

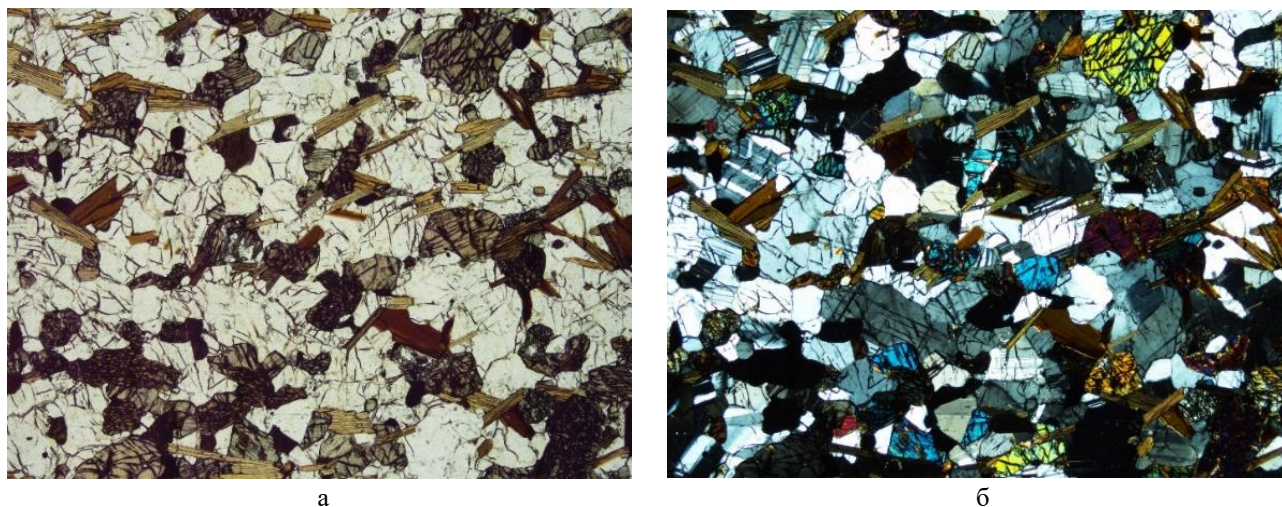


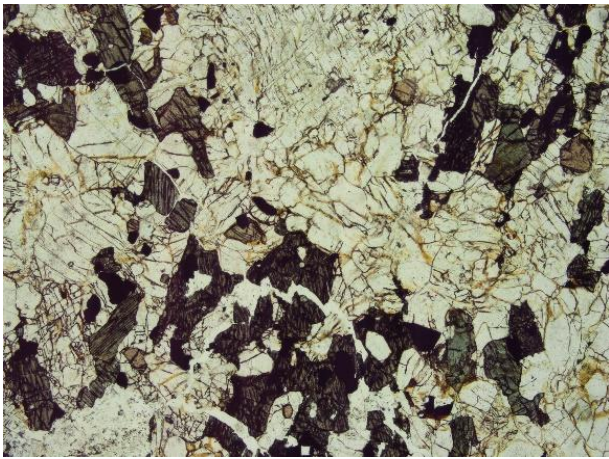
Рисунок 2 – Плагиогнейс (обр. № 42)
Общий вид 2х: а – без анализатора, б – с анализатором

Гибридные амфибол-пироксен-плагиоклаз-кварц-полевошпатовые чарнокитизированные эндербиты (eсg) (рис. 3) встречаются в центре и на востоке территории на контактах с плагиогнейсами. Контакты не интрузивные, результат последовательного преобразования протолита в гибридные эндербито-чарнокиты, породы с чарнокитоидной мелкокристаллической палеосомой, эндербитоидной гнейсоватой текстурой и овоидными фемическими выделениями. Темноцветные минералы, представленные кристаллами ромбического и моноклинного пироксена (гора Рубин) и роговой обманки (Мысы Доступный и Обь), кристаллы граната (участок отбора образцов Восток), рудные зерна (содержание которых достаточно высоко) и тонкие зерна апатита, равномерно распределены в породе.

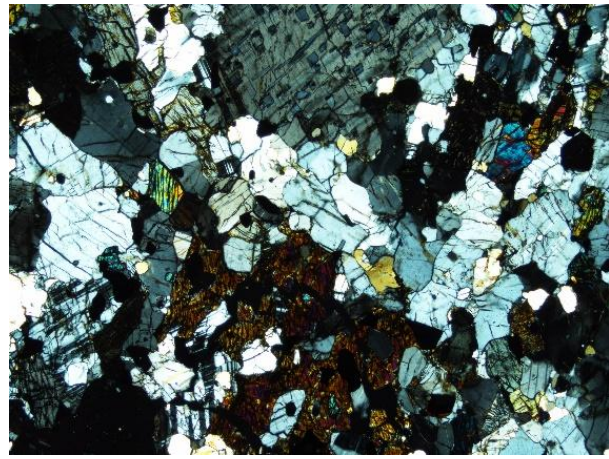
Характерна сильная трещиноватость зёрен с извилистыми границами, распределение кристаллов Pl и Kпш характерно при распаде более крупных зёрен на агрегат мелких, т. е. порода испытала бластез.

Текстура подчеркивается ориентацией удлинённых зёрен темноцветных минералов. Кристаллы Nb1 не разрушены и, возможно, формировались по уже в разгнейсованной породе, так же, как и редкие пластины Bi.

Наличие граната и гиперстена свидетельствует, что породы сформировались в условиях гранулитовой фации и были изменены в амфиболитовой фации до Bi-Nb1-го плагиогнейса. Поскольку порода была метаморфизована с привнесением вещества и перекристаллизацией, её можно назвать эндербитом, метаморфизованным на регрессивной стадии в амфиболитовой фации, когда по Px развивалась Nb1, Bi [2].



а



б

Рисунок 3 – Эндербит (обр. № 20)
Общий вид 2х: а – без анализатора, б – с анализатором

Амфибол-полевошпат-кварц-плаггиоклазовые чарнокиты (цг) (рис. 4) занимают доминирующее положение в строении участка. Для породы характерна разгнейсованность, выраженная в дифференциации лейкократовых и меланократовых минералов на нечёткие прослойки: субпараллельной направленности крупных зёрен полевых шпатов, кварца, амфибола, пластинок биотита, зёрен рудных минералов.

Акцессорные минералы апатита и циркона иногда указывают на магматический тип пород, особенно если они идиоморфны. В изучаемых образцах выделены преимущественно шестиугольные, реже овальные зёрна апатита и единичные зёрна монацита таблитчатой либо округлой удлинённой формы. Содержание рудных минералов во всех образцах изменяется от 0,5 до 8 %. Они представлены в виде окислов (гидроокислов) и являются ярким свидетельством чарнокитов [2].

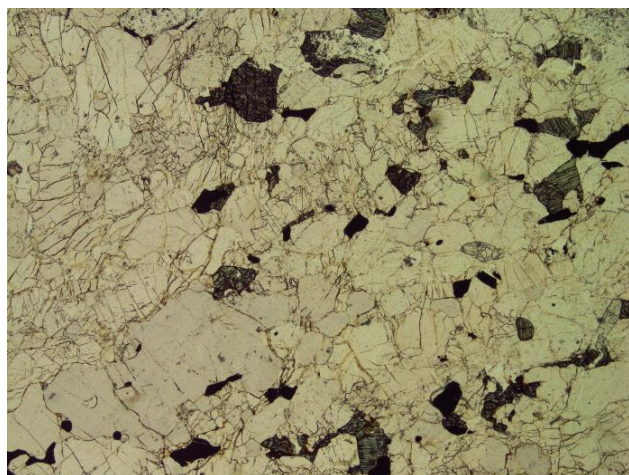
О метаморфизме чарнокитов можно судить по наличию текстурных доказательств для кристаллизационного порядка ОРх по отношению к Vi/HVi, ассоциации ОРх с КПШ. Наличие хлорита, сростков Vi и HVi. Зерна кварца иногда отличаются крупными размерами и равномерно распределены в породе. Среди ПШ преобладает P1. Нередко P1 представлен в виде удлинённых в одном направлении зёрен с включением округлых зёрен кварца, что говорит о катаклазировании породы. На границе зёрен КПШ и P1 развиваются мирмекитовые агрегаты. Характерна сильная трещиноватость зёрен в виду бластеза. Гетерогранобластовая структура наблюдается во всех шлифах и её формирование обусловлено перекристаллизацией породы.

Наличие гиперстена свидетельствует о том, что породы сформировались в условиях гранулитовой фации по субстрату гранодиоритового состава и были изменены в амфиболитовой фации до Vi-Hvi-ой породы.

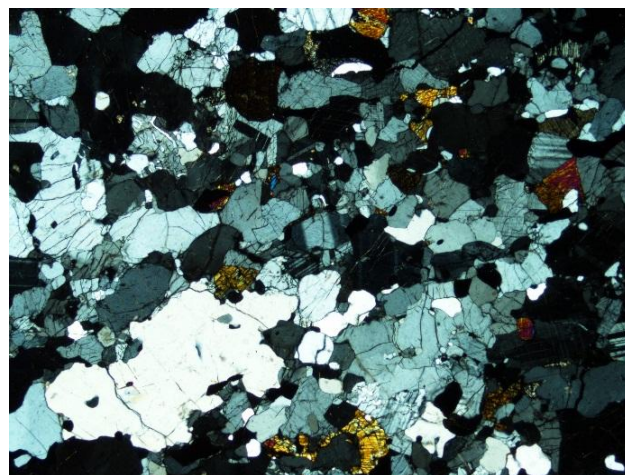
Полевошпат-кварц-плаггиоклаз-амфибол-биотитовые струйчатые гнейсовато-рапакиви-подобные чарнокиты (гибриды) (цгм) (рис. 5) занимают господствующие высоты. Имеют контакты только с чарнокитами, переход к которым носит фациальный характер: результат деградации источника чарнокитизации и начало локализации тектоно-магматических процессов. От чарнокитов отличаются специфической струйчатой текстурой в плане и чётковидной «очковой» на поперечном срезе.

Средне-крупнозернистая порода, сложенная КПШ (микроклин), P1 (олигоклаз и андезин), Q и небольшим количеством темноцветных минералов (вплоть до единичных зёрен Hvi и Vi). Для породы также характерны тонкие округлые зерна Q, внедренные в ПШ, мирмекиты на стыке зёрен P1 и КПШ [2].

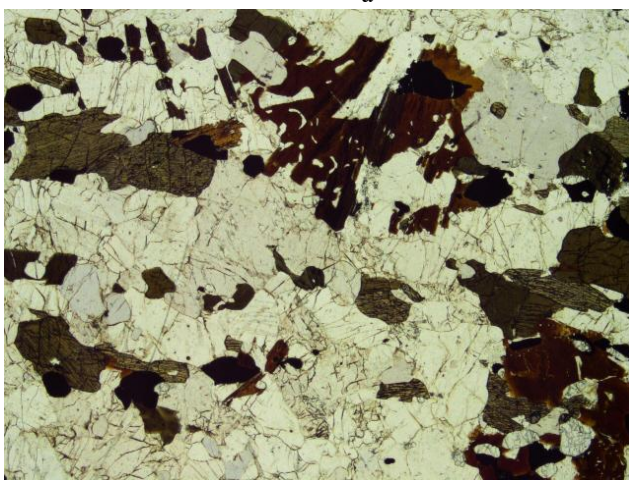
Породу можно отнести к изменённым в регрессивной амфиболитовой фации метаморфизма чарнокитам.



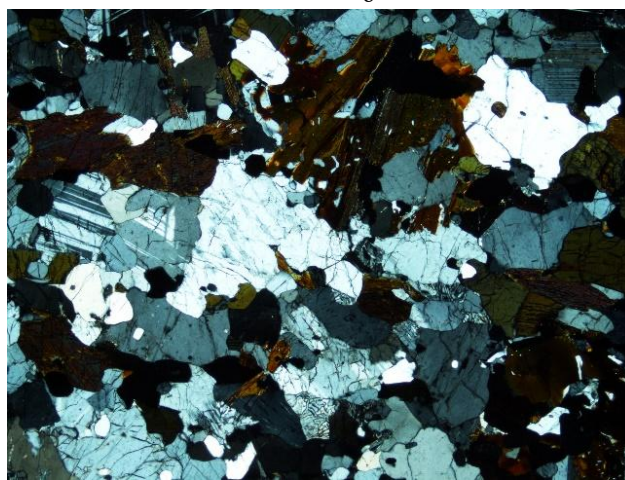
а



б

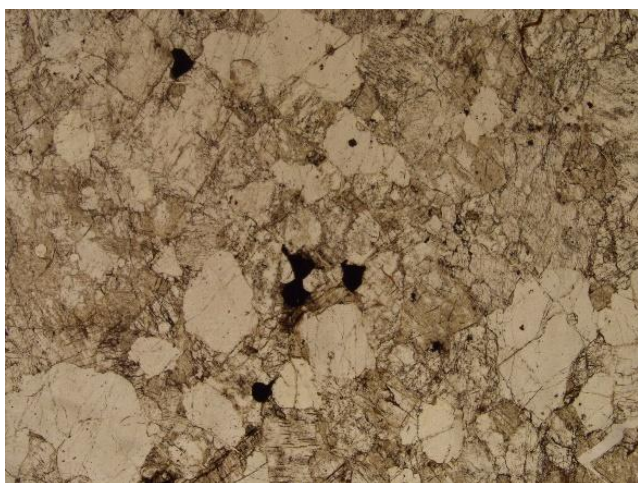


в

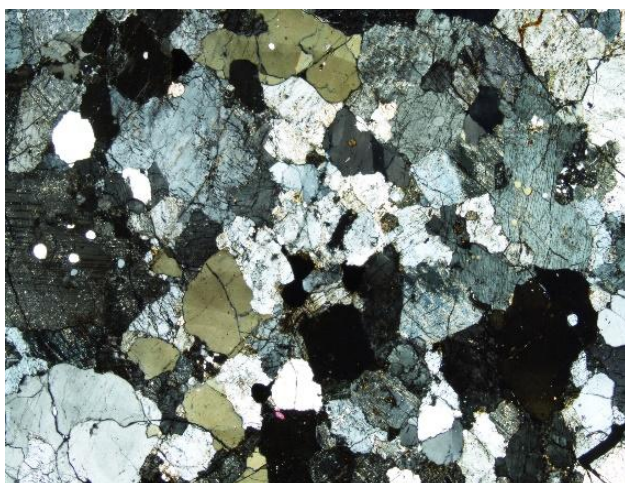


г

Рисунок 4 – Чарнокиты (обр. № 34, № 24)
Общий вид 2х: а, в – без анализатора, б, г – с анализатором.



а



б

Рисунок 5 – Рапакивиподобный чарнокит (обр. №12-2)
Общий вид 2х: а – без анализатора, б – с анализатором.

Результаты. При создании атласа было изучено и сфотографировано 86 шлифов горных пород основных разновидностей Вечернегорской территории. Впоследствии был составлен атлас, состоящий из нескольких (от 2 до 8) микрофотографий каждого из шлифов. Данная работа позволит облегчить дальнейшее изучение территории Восточной Антарктиды, а также систематизировать все отснятые микрофотографии. Помимо научной значимости, атлас является наглядным учебным пособием, которое используется в учебном процессе на кафедре региональной геологии по дисциплинам «Петрография магматических пород», «Петрография метаморфических пород».

Библиографические ссылки

1. Строительство и функционирование Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби. Проект Всесторонней оценки окружающей среды. Минск : Нац. академия наук Беларуси, 2013.

2. Мясников О. В. Геологическое строение Вечернегорской территории (Западная Земля Эндерби, Антарктида) // Акт. проблемы геологии и поисков месторождений полез. ископаемых: материалы V Университет. геол. чтений, Минск, 8–9 апр. 2011. Минск, 2011. С. 17–20.

СОДЕРЖАНИЕ

ДОКЛАДЫ УЧЁНЫХ СЕРБИИ, УКРАИНЫ, ПОЛЬШИ И РОССИИ

<i>Милицич М., Мустафин С. К., Трифонов А. Н.</i> Региональные геоэкологические аспекты трансформации гидросферы трансграничных речных бассейнов Европы.....	3
<i>Якимчук Н. А., Левашов С. П., Корчагин И. Н.</i> К вопросу об эндогенном образовании янтаря.....	13
<i>Kalicki T., Przepióra P., Podrzycki Ł.</i> Diversity and age of sediments building kame hills near Suchedniów (Kielce Upland, central Poland) – first results.....	19
<i>Kalicki T., Przepióra P., Khusakiewicz E., Podrzycki Ł., Fularczyk K., Pabian G., Żurek K.</i> The Świślina river valley structure at the Doły Biskupie site (Holy Cross Mountains, central Poland) – preliminary results.....	23
<i>Frączek M., Bęben A., Wawrusiewicz A., Kalicki T.</i> Palaeoenvironmental context of the Subneolithic hunter-gatherer communities of the Niemen culture – case study at Lipsk site (NE Poland).....	28
<i>Пунанова С. А., Самойлова А. В.</i> Сравнительная характеристика нефтегазоносности пограничных регионов древних платформ.....	33
<i>Самойлова А. В.</i> Неструктурные ловушки прибортовой зоны Прикаспийской впадины на примере Ровенско-Краснокутского вала (Саратовская и Волгоградская области).....	38
<i>Пунанова С. А.</i> Геохимические микроэлементные показатели фазово-генетических типов залежей в комбинированных ловушках.....	41
<i>Шустер В. Л.</i> Геолого-математическая модель «Выбор» – эффективная технология при решении задачи определения очередности ввода локальных структур в поисково-разведочные бурение.....	46
<i>Kovalevskiy M. V., Gorbatsevich F. F., Trishina O. M.</i> Possibilities of the acoustopolariscopy method in the problems of geophysics.....	48
<i>Kovalevskiy M. V., Gorbatsevich F. F., Trishina O. M.</i> Present petrophysical research of deep and super-deep boreholes.....	53
<i>Вашков А. А., Носова О. Ю.</i> Особенности строения и распространения грядово-кольцевого рельефа морены в Кольском регионе.....	58
<i>Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н., [Колька В. В.], Корсакова О. П.</i> История развития условий осадконакопления в долине р. Лотта (северо-запад Кольского региона) в голоцене.....	63
<i>Коломиец В. Л., Будаев Р. Ц.</i> Кайнозойские осадочные толщи бассейна р. Селенга: литология, генезис и палеогеография (Западное Забайкалье).....	66
<i>Коломиец В. Л.</i> Плейстоценовый литогенез суходольных впадин Байкальской Сибири.....	71
<i>Ямских Г. Ю., Маады Э. В., Макаручук Д. Е.</i> Гранулометрический состав и магнитная восприимчивость отложений 6–8-метровой террасы р. Ирба.....	76
<i>Панин П. Г., Калинин П. И., Филиппова К. Г.</i> Предварительные данные о лёссово-почвенной серии центра Липецкой области, Россия.....	81
<i>Мустафин С. К., Трифонов А. Н., Стручков К. К.</i> Обеспечение питьевой водой населения арктической зоны России.....	84
<i>Мустафин С. К., Сафаргалина Р. Р.</i> Инженерно-геологические риски нефтедобычи в криолитозоне.....	87
<i>Мустафин С. К., Трифонов А. Н., Стручков К. К.</i> Геологические памятники природы как базовые элементы экологического каркаса регионов.....	92

ДОКЛАДЫ УЧЁНЫХ И УЧАЩИХСЯ УНИВЕРСИТЕТОВ БЕЛАРУСИ

<i>Губин В. Н.</i> Космическое зондирование Земли в инновационном развитии региональной геологии и сферы геологического образования.....	98
<i>Сушкевич С. Л.</i> Отражение рельефа фундамента Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий в геофизических полях.....	103
<i>Хибиев А. К.</i> Мощность земной коры Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий.....	106
<i>Толстошеев В. И., Сахарук П. О., Кручек С. А.</i> К истории составления карты мощностей отложений индского яруса нижнего триаса Брагинско-Лоевской седловины.....	109
<i>Обуховская В. Ю., Сахарук П. О.</i> О находке микрофитофоссилий раннетриасового возраста в разрезе параметрической скважины Приволье 2П юго-востока Беларуси.....	112

<i>Петрова Н. С., Денисова Н. Ю.</i> Оценка онтогенетических закономерностей формирования структурно-вещественных комплексов соленосных формаций Припятского прогиба.....	116
<i>Петрова Н. С., Денисова Н. Ю.</i> Диагностические критерии для выявления и оценки онтогенетических закономерностей формирования структурно-вещественных комплексов соленосных формаций Припятского калиеносного бассейна.....	121
<i>Еловичева Я. К.</i> История развития палеоводоёма Руба в Беларуси.....	125
<i>Еловичева Я. К.</i> Геологические разрезы гляциоплейстоцена Ошмянщины как природное наследие северо-запада региона.....	134
<i>Литвинюк Г. И.</i> Предварительные итоги палеокарпологического изучения разреза Мурава 2 (Чёртов Куст).....	141
<i>Литвинюк Г. И., Мазурина К. А.</i> Новый разрез межледниковых отложений на северо-западе Беларуси.....	144
Санько А. Ф. Использование раковин моллюсков палеолитическим человеком в Костёнках.....	146
<i>Будник Н. И., Карсеко К. С.</i> Влияние катагенетической галитизации фильтрационно-ёмкостного пространства пород-коллекторов на особенности разработки нефтяных залежей (на примере Березинского месторождения).....	151
<i>Войтов И. В., Цыганов А. Р., Лобов К. А.</i> Перспективы доизвлечения остаточных запасов нефти с использованием закачиваемой в пласт воды с регулируемым углом смачивания.....	156
<i>Лопатин А. М., Русинович И. П.</i> Оптимальный комплекс сейсмических методов при подготовке нефтеперспективных структур (на примере Макановичской площади Припятского прогиба).....	160
<i>Паремский Е. Г., Грудинин А. С., Кондратенко А. В.</i> Геометризация залежей углеводородов в условиях неоднородного разреза Припятского прогиба (на примере Осташковичского нефтяного месторождения).....	164
<i>Кондратенко Н. И.</i> Оценка перспектив нефтеносности южной части Припятского прогиба по гидрогеологическим данным.....	170
<i>Переволоцкая Я. А.</i> Особенности применения АВО-анализа на карбонатных коллекторах межсолевого комплекса Припятского прогиба.....	174
<i>Коранчук С. С.</i> Программный анализатор взаимодействия нагнетательного и добывающего фонда скважин.....	177
<i>Куксовский А. А.</i> Автоматизированный линеаментный анализ участка Припятского нефтегазозносного бассейна средствами специализированного программного обеспечения LEFA.....	181
<i>Василёнок Е. Г.</i> Количественное определение рудных минералов в шлифах горных пород методами цифровой петрографии.....	187
<i>Зуй В. И.</i> Геотермические исследования в Минской области.....	190
<i>Mansouri-Far S.</i> A look at the geothermal field and geothermal energy in Caucasus region.....	195
<i>Силицкая О. В.</i> Оценка качества подземных вод Беларуси по гидрохимическим показателям.....	203
<i>Грибик Я. Г., Альтигулер П. Г., Беляшов А. В.</i> О проявлении ртути в Беларуси.....	207
<i>Думанский Д. А.</i> Влияние активных геодинамических зон на эколого-геологические условия.....	214
<i>Балашов К. Ю., Воробина Е. Г., Панасенко В. А., Голод А. М.</i> Изменение химического состава рассолов в зоне контакта с материалами крепи шахтных стволов на Петриковском горно-обогатительном комплексе.....	216
<i>Козловский Н. В.</i> Геоэкологические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых карьерный способом.....	220
<i>Куприянюк К. В.</i> Грунты г. Минска и их инженерно-геологические свойства.....	223
<i>Юценко И. С.</i> Результаты инженерно-геологических изысканий для объекта «Узел подачи и фасовки удобрений в контейнеры в ЦССМУ» на территории г. Гомель.....	225
<i>Цедрик А. В.</i> Выявление эколого-экономической целесообразности вовлечения горючих сланцев в экономику Республики Беларусь.....	228
<i>Юдаев С. А.</i> Организация безопасного ведения геологоразведочных работ в Беларуси.....	232

ДОКЛАДЫ УЧЁНЫХ БЕЛАРУСИ

ПО ТЕМАТИКЕ ГПНИ «ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ЭКОЛОГИЯ» (2016–2020 гг.)

<i>Грищенкова Н. Д.</i> Оценка загрязнения водной экосистемы р. Свислочь–р. Березина по содержанию тяжёлых металлов в водной растительности и донных отложениях.....	236
--	-----

<i>Лукашѐв О. В., Творонович-Севрук Д. Л., Лукашѐва Н. Г.</i> Сопряжѐнное геохимическое изучение донных отложений и гидробионтов Осиповичского водохранилища (методический аспект).....	240
<i>Овчарова Е. П., Санец Е. В., Бокая Г. М.</i> Малые водные объекты г. Минска: гидрохимическая трансформация и эколого-рекреационная значимость.....	258
<i>Савченко С. В., Санец Е. В., Рыжиков В. А., Бокая Г. М.</i> Современное эколого-геохимическое состояние почв в долине р. Свислочи в г. Минске.....	263
<i>Карпиченко А. А.</i> Выявление техногенного накопления элементов в почвах г. Слуцка.....	267
<i>Творонович-Севрук Д. Л., Лукашѐв О. В.</i> Основные направления геоэкологического изучения северной части водосбора р. Тиса.....	272
ИССЛЕДОВАНИЯ УЧѐНЫХ БЕЛАРУСИ В АНТАРКТИДЕ	
<i>Шаблыко П. В.</i> Структурное районирование аномального магнитного поля Z и T Вечернегорской площади (Земля Эндерби, Восточная Антарктида).....	286
<i>Мясников О. В., Федотова Л. Р., Василѐнок Е. А.</i> Цифровой атлас горных пород Восточной Антарктиды (Холмы Тала): методы формирования.....	290

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ
РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОЛОГИИ
ЗАПАДА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
И СМЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Материалы
II Международной научной конференции**

**Республика Беларусь
Минск, 16 февраля 2021 г.**

На русском и английском языках

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *О. В. Лукашёв*
Компьютерная верстка *О. В. Лукашёва, О. В. Силицкой*

Подписано в печать 29.09.2021. Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 34,87. Уч.-изд. л. 22,62. Тираж 100 экз. Заказ

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика

