

лее чем на порядок большую протяжённость и площадь бассейна (по сравнению с притоками) и явно выраженное поступление рассматриваемого химического элемента в аллювий, сопоставимое с реками в пределах Центральной и Южной геохимических провинций Беларуси.

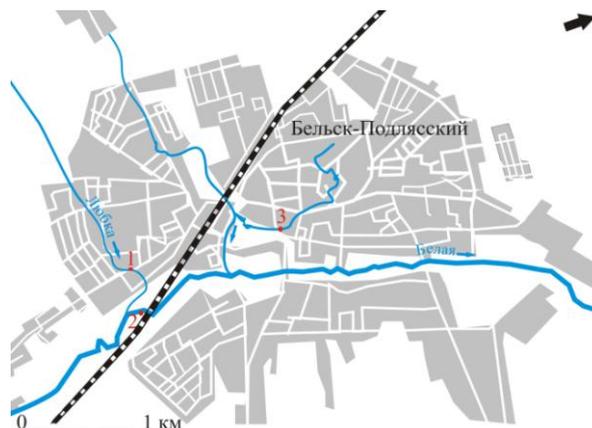


Рисунок – Схема опробования донных отложений г. Бельск-Подляский  
1–3 – точки отбора проб ( по материалам опробования 2012 г)

По более ранним данным польских исследователей [1], валовое содержание Ni и Cr в аллювии р. Белая выше г. Бельск достигает 10,2 и 5,7 мг/кг, ниже сбросов местной очистной станции – 8,8 и 18,3 мг/кг соответственно, что близко к данным, приведённым в начале данной статьи. Различие в наблюдаемых показателях может объясняться как случайностями опробования, так и особенностями лабораторной обработки материалов в Беларуси и Польше.

Таким образом, изучение распределения рассмотренных химических элементов в речной сети г. Бельск-Подляский позволяет говорить о близости концентраций Mn, Ni и Cr в аллювии р. Белой и её притока, протекающего через центральную часть города и повышенном содержании Co в аллювии р. Белой. Для уточнения причин наблюдаемой дифференциации Mn, Ni, Cr и Co необходимы дальнейшие эколого-геохимические исследования.

1. Skorbiłowicz E., Skorbiłowicz M, Zawadzka A. Influence of sewage disposal on chromium and nickel contents in bottom sediments of selected rivers in Podlasie province, Poland / Proceedings of ECOpole. Opole. 2008. Vol. 2, No.1. P. 99–105.

УДК 550.4

## ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЛАТЕРАЛЬНОГО И РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ЗОНЫ УМЕРЕННОГО ТЕХНОГЕНЕЗА

Ю. Г. Тютюнник<sup>1</sup>, В. А. Шабатура<sup>2</sup>, Даунис-и-Эстаделья Дж<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт эволюционной экологии НАН Украины, ул. акад. Лебедева 37, 03143 Киев, Украина; carmel@mail.ru

<sup>2</sup> Киевский национальный университет, ул. Владимирская 64/13, 01601 Киев, Украина

<sup>3</sup> Universidad de Girona, Plaça de Sant Domènec 3, 17004 Girona, España

Исследования проводились в западной субурбии Киевского мегаполиса в пределах треугольника, образуемого населёнными пунктами г. Ирпень – п. г. т. Буча – п. г. т. Ворзель. Хозяйственной спецификой территории является то, что для неё характерны очень интенсивная рекреационная деятельность в сочетании со значительной промышленной активностью (машиностроение, производство стройматериалов, стеклоизделий, деревообработка и изготовление мебели, пищевые производства) и осушительными мелиорациями в долине р. Ирпень. Кроме того, территория имеет разветвлённую транспортную инфраструктуру (автодороги, железные дороги, аэродром), а также – при восточных ветрах – может подвергаться влиянию загрязнённых воздушных масс, сформировавшихся над Киевом. В физико-географическом отношении это южная часть Киевского Полесья с господством занд-

ровых, морено-зандровых и пойменных ландшафтов. Гидрографическая сеть хорошо развита, но перепады высот незначительные – долины неглубокие.

С учётом ландшафтной структуры, было заложено 36 полнопрофильных почвенных разрезов, из которых 26 отнесены к автономным и 13 к подчинённым элементарным геохимическим ландшафтам (ЭГЛ). В разрезах погоризонтно (то есть их каждого генетического почвенного горизонта) было отобрано 190 проб, которые анализировались спектральным методом в лаборатории физико-химического изучения горных пород геологического факультета Киевского национального университета им. Т. Г. Шевченко. Цель работы – изучение латерального и радиального распределения химических элементов в почвах методами геостатистики [1]. Работы по моделированию осуществлялись в Департаменте информатики и прикладной математики университета Жироны (Испания).

Рабочей гипотезой, подробно изложенной в [4, 5] и неоднократно апробированной в наших предыдущих геостатистических исследованиях геохимических полей в зонах техногенеза, были следующие положения. 1. Химический состав пробы представляется в форме векторного произведения концентраций всех определяемых в ней химических элементов (а не так, как обычно: для каждого ингредиента в отдельности). Получаем так называемые составные данные (CoDa). 2. Каждый определяемый химический элемент можно рассматривать в качестве маркера того или иного геохимического фактора (группы факторов), обуславливающего его наличие в анализируемых пробах; а в совокупности все определяемые химические элементы образуют гиперпространство геохимических факторов и причин с размерностью, соответствующей количеству элементов. 3. Гиперпространство факторов представляется в виде двумерной проекции – биплотом (многолучевая «звезда», где каждый луч соответствует одному из ингредиентов – рис. 1). Объединение лучей в пучок, то есть уменьшение угла между ними свидетельствует о родственности причин, обуславливающих их наличие в CoDa (полного совпадения лучей, равно как и абсолютного идентифицирующего значения, для каждого химического элемента, нет; речь идет только о вероятностях). А длина луча пропорциональна силе фактора, маркируемого соответствующим химическим элементом. Следует помнить, что перед нами 2-мерная проекция гиперпространства! Искажения углов и длин здесь неизбежны. Объективно длины лучей и углы между ними могут быть оценены с помощью численных показателей дисперсий, частот, вероятностей, которые здесь не приводятся из-за громоздкости. Расшифровка биплотов (с привлечением, если нужно, численных параметров, описывающих их структуру) позволяет выявлять геохимические факторы и причин, обуславливающие формирование CoDa всей группы проб и каждой пробы в отдельности. 4. В последнем случае, точки, соответствующие CoDa-данным о концентрациях химических элементов в каждой пробе, наносятся на график биплота. В случае влияния тех или иных геохимических причин на химический состав той или иной группы проб, эти пробы кластеризуются в областях гиперпространства, формируемых лучами химических элементов, маркирующих соответствующие причины. В случае наличия только трёх причин, маркируемых тремя ингредиентами, биплот может быть заменен треугольной диаграммой (последние давно используются в геохимии).

Анализ данных геостатистического моделирования CoDa данных всех 190 проб с последующим представлением результатов в виде «звезды» биплота (рис. 1), в совокупности с эмпирической и феноменологической оценкой геохимической ситуации в районе исследования, позволил прийти к следующему заключению.

В пределах исследованной территории ведущими при формировании гиперпространства являются следующие факторы и причины: 1) влияние литогенной основы, минералогического состава почвообразующих пород – зандровых и аллювиальных песков, морены, озёрных глин (маркируется La, Ce, Nd); 2) влияние процессов пирогенеза, атмосферного загрязнения продуктами сгорания (маркируется Pb); 3) влияние процессов биогенного преобразования вещества, биогенеза (хорошо маркируется Zn, слабее – Cu); 4) влияние окислительно-восстановительных (маркируется Mn) и 5) щёлочно-кислотных (маркируется Ba, Rb, Sr) условий. При этом факторы 1–3 проявляют себя сильнее, а 4–5 – слабее. Роль Fe и Ga в 12-мерном гиперпространстве однозначно не интерпретируется. Их «лучи» маркируют, скорее всего, комплексный характер действия геохимических факторов и причин. Fe в разной мере сопряжено с причинами 1, 3, 4, а как маркер техногенеза – с влиянием крупнодисперсных аэрозолей дезинтеграции машин и механизмов [2]. «Луч» Ga отражает влияние минеральной основы, но частично этот рассеянный элемент связан и с процессами биогенеза [3].

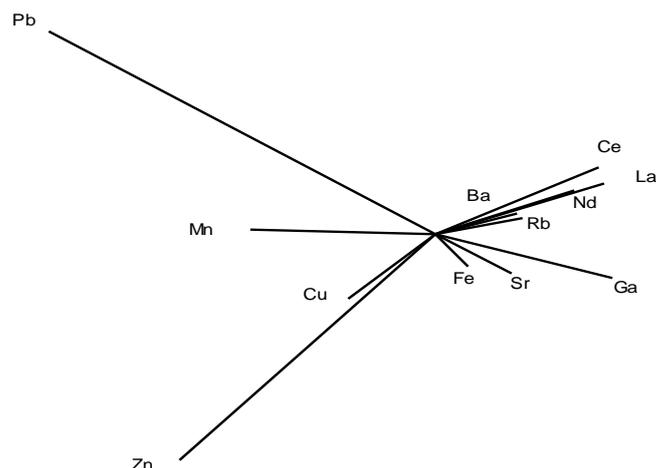


Рисунок 1 – Двухмерная модель (биplot) 12-мерного гиперпространства геохимических факторов и причин, определяющих элементный состав почвенных проб, отобранных в окрестностях Ирпеня, Бучи Ворзеля, Киевская обл.

Размещение на плоскости данного графика точек, соответствующих CoDa-данным о концентрациях химических элементов в каждой, отобранной из верхних 10 см, пробе, показало, что имеет место достаточно отчётливая кластеризация этих точек. Точки, соответствующие пробам, отобранным в автономных (А) и подчинённых (П) ЭГЛ, стремятся группироваться в разных областях гиперпространства геохимических факторов и причин. Точки группы «А» имеют тенденцию группироваться около лучей «TR–Ga» и «Pb». Это говорит о том, что элементный состав почв автономных ЭГЛ, с одной стороны, более зависим от исходной минералогической основы, с другой – сильнее определяется фактором атмосферного загрязнения. Последнее – факт, достаточно хорошо известный из метеорологии: возвышенные формы рельефа первыми принимают на себя «удар» загрязнённых воздушных масс. Точки проб группы «П» имеют тенденцию скопляться около лучей «Zn–Cu» и «Mn». Это также выглядит вполне естественным, поскольку именно в подчинённых ЭГЛ сильнее развиты маркируемые Zn – Cu процессы биогенеза, в частности, торфонакопление (которое в изученном регионе, повторим, достаточно сильное); и в них же наблюдаются более сложные окислительно-восстановительные условия, маркируемые Mn.

Частично (без «Mn») высказанные предположения подтверждаются расположением точек проб «А» и «П» на треугольной диаграмме «La (минеральная основа)–Zn (биогенез)–Pb (пирогенез)», рис. 2.

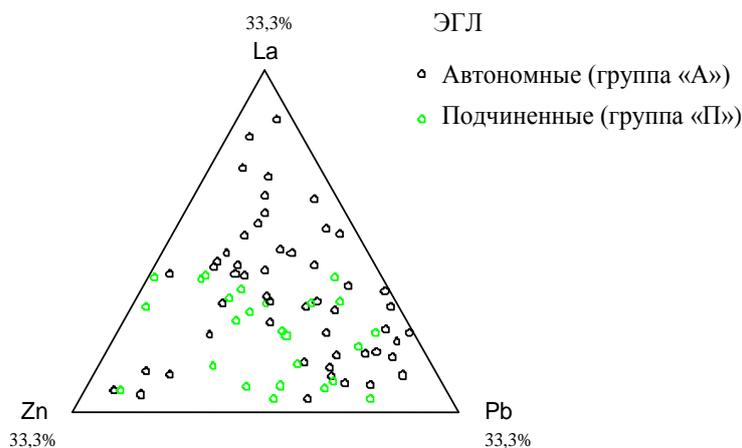


Рисунок 2 – Треугольная центрированная диаграмма распределения точек CoDa почвенных проб, отобранных в верхних 10 см в районе исследования, в 3-х мерном пространстве геохимических факторов и причин, маркируемых La, Zn и Pb

Исследовалось также распределение в плоскости графика биплот и по центрированным треугольным диаграммам точек CoDa проб, сгруппированным по генетическим почвенным горизонтам и формальным интервалам глубин пробоотбора (точки маркировались цветами). Анализ полученных графических моделей показал, что в случае пробоотбора, «привязанного» по вертикали к генетическим горизонтам, CoDa проб из гор. H<sub>d</sub> (используется принятая в Украине индексация почвенных горизонтов по А. Н. Соколовскому (1930)) достаточно определённо собираются в областях «Zn» (био-генез) и «Pb» (атмосферное загрязнение почв), что выглядит вполне логичным. CoDa проб из гор. P чётко группируются в области «TR» и более расплывчато в областях «Fe» и «Ga», что тоже, очевидно, легко объяснимо. Fe, кроме этого, выступает довольно слабым, но всё же заметным маркером группировки CoDa проб, взятых из гор. I: образование этого горизонта, как известно, сопряжено с осаждением полуторных окислов, среди которых гидроксиды Fe – одни из важнейших. Напротив, Zn, не проявляет ни малейших тенденций к «собираению» точек CoDa проб из гор. I. Группирование CoDa проб из глеевых горизонтов слабое, в основном, его можно заметить в области «Rb–Sr–Ba», ещё хуже – в областях «Mn» и, частично, «Fe». Поскольку именно в глеевых горизонтах наблюдаются наиболее «напряжённые» щёлочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия (сложная динамика, частая смена, большие амплитуды значений), то такая группировка, хотя и плохо выраженная, также выглядит вполне логичной. CoDa проб из горизонтов H и E не проявляют тенденций ни к каким группировкам. Относительно гор. H, это может свидетельствовать о высокой степени полигенетичности геохимических процессов, происходящих в нём в условиях разнообразия ЭГЛ и достаточно высокого разнообразия форм проявления техногенеза, хотя и умеренного. Что же касается гор. E, то отсутствие тенденции к группированию в кластеры CoDa проб, в нем отобранных, в нашем случае, скорее всего, свидетельствует просто об отсутствии в списке определяемых элементов полноценного маркера тех геохимических причин, которые обуславливают специфику гор. E. (Как известно, для элювиального процесса классическим маркером является Si, но он нами не определялся).

Изучение группировок CoDa проб, сформированных по формальным глубинам пробоотбора, показало следующее. Около Zn и Pb чётко группируются CoDa проб из слоев «0–5» и «5–10» (здесь и далее «см» опустим). Очевидно, этот факт полностью объясняется аргументами, приведёнными выше. (К ним следует добавить, что верхние гумусированные слои почв являются самыми сильными сорбентами Pb, выпадающего на их поверхность в составе аэрозолей и влаги, а также приносимого в ЭГЛ группы «П» с боковым стоком). В слоях «10–15», «15–20», «20–30», «30–50» тенденции к какой бы то ни было группировке проб исчезают. Разнообразию генетических горизонтов почв и геохимических процессов в разных ЭГЛ не позволяет проявиться каким-либо «сквозным» тенденциям к кластеризации CoDa проб. Однако, начиная с 50 см (группы «50–100» и «>100») снова появляется тенденция к группированию точек CoDa, которая усиливается с глубиной. Не сложно догадаться, что точки CoDa на графиках начинают концентрироваться в области «TR», что отражает влияние природной минералогической основы. Из выше изложенного можно сделать простой вывод: в условиях территории «субурбия Киевского мегаполиса – юг Киевского Полесья» химический состав проб почв, отобранных формально «послоев» в диапазоне 10–50 см, без привязки к генетическим почвенным горизонтам, в общем случае может свидетельствовать о каких угодно геохимических процессах, особенностях, закономерностях. Пробы же отобранные до глубины 10 см и глубже 50 см, с высокой степенью вероятности свидетельствуют о процессах атмосферного загрязнения и особенностях биогенеза в первом случае, и о влиянии природной литогенной основы – во втором.

1. Геостатистика и география почв / Отв. ред. П.В. Красильников. М.: Наука, 2007. 175 с.

2. Саен Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 426 с.

4. Aitchison J., Greenacre M. Biplot of compositional data// Applied Statistics. 2002. Vol. 51. P. 375–392.

5. Martín-Fernández J. A., Daunis-i-Estadella J., Tsytyunnik Y. G. Experiencia del estudio geoestadístico de composición química de suelos, de los indicadores de factores y de las condiciones geoquímicas: Report de Recerca IMA 04-01-RR. Girona: Universitat de Girona, 2004. 50 p.