

УДК 556.1(87)

Д.М. КУРЛОВИЧ, В.Э. КУТЫРЛО

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК В ФОРМИРОВАНИИ ВОДОПРИТОКОВ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ НАВАЙ (ВЕНЕСУЭЛА)

Results of estimation of surface runoff in formation of inflows at open-pits La Linda and Los Monos of the Navaj deposit of phosphorites are presented. The quantity of an atmospheric precipitation which will arrive in open-pits is defined. The volume of surface runoff in open-pits is calculated. The obtained results will be used at designing and building of system of drainage and hydraulic facilities for water disposal.

Месторождение фосфоритов Навай расположено в штате Тачира на северо-западе Боливарианской Республики Венесуэла. В настоящее время компанией Petroquímica de Venezuela при научно-техническом сопровождении ОАО «Белгорхимпром» здесь проводятся исследования по оценке возможности освоения фосфатных пород на участках Ла Линда и Лос Монос.

Разработка месторождения Навай планируется открытым способом, так как продуктивные пласты, представленные кварц-коллофан-апатитовыми песчаниками, находятся на небольшой глубине и имеют достаточную мощность.

Актуальность исследований гидрологических условий месторождения определяется необходимостью отведения поверхностных вод от карьерных площадей. Следует отметить, что открытая разработка приводит к перераспределению поверхностного и подземного стоков, что оказывает влияние не только на условия формирования водопритоков в карьеры, но и на речной сток всего района месторождения.

Основные природные факторы, влияющие на водопритоки в карьеры, связаны с климатическими и гидрологическими условиями, геологическим строением месторождения, характером и особенностями залегания пород, типом гидрогеологической структуры, гидродинамическим режимом на границах водоносных комплексов и взаимосвязью водоносных горизонтов. В свою очередь, поверхностный сток представляет собой значительную часть общего водопритока в открытые горные выработки. В целом он складывается из поверхностного стока в границах локального водосборного бассейна и суммы атмосферных осадков, поступающих на площадь карьерного поля.

Целью исследований явилась оценка вклада поверхностного стока в общий водоприток карьеров Ла Линда и Лос Монос месторождения Навай. В основу работы положены материалы полевых гидрологических исследований, выполненные авторами в июле – сентябре 2011 г. (82 пункта в пределах месторождения), а также анализ данных многолетних стационарных метеорологических (10 станций и постов) и гидрологических наблюдений (1 пост).

Характеристика условий отработки месторождения фосфоритов

Месторождение Навай расположено в муниципалитете Либертадор (штат Тачира) на северо-западе от его центра – г. Абехалес. Площадь участка Ла Линда составляет 23,5 км², Лос Монос – 7,6 км². Общая площадь, покрытая полевыми гидрологическими исследованиями, составила 91,4 км².

Месторождение располагается на двух крупных гипсометрических уровнях – равнинном и предгорно-возвышенном. Северную часть исследуемого участка занимают хребты гор Кордильера-де-Мерида, относящиеся к системе Северных Анд. С юго-запада на северо-восток по центральной части месторождения протягивается хребет Фила эль Торо, являющийся отрогом Кордильеры юго-западного простирания. Предгорно-возвышенные участки сложены верхнемеловыми отложениями формаций Агуардьенте, Агуардьенте-Рио Негро, Эскандалоса и Навай. На юго-западе, юго-востоке и востоке от хребта Фила эль Торо находится низменная равнина Эль Вегон. Рельеф здесь преимущественно плоский, слегка волнистый. Равнина сложена аллювием, пролювием и коллювием. Данные четвертичные отложения перекрывают верхнемеловые породы.

Участок исследований расположен в субэкваториальном климатическом поясе с достаточным увлажнением. Температура воздуха в районе месторождения в течение года меняется незначительно, а в среднем за год составляет +23,4 °С. Отличия в сезонах заключаются в количестве выпадающих осадков. С мая по ноябрь господствуют влажные экваториальные воздушные массы и начинается сезон дождей (сезон «инвьерно»), а в период с декабря по апрель дуют сухие тропические пассаты (сезон «верано»). Годовое количество осадков в исследуемом регионе составляет в среднем 2700 мм.

В гидрографическом плане район месторождения Навай расположен в бассейне р. Капаро, левого притока р. Апуре, которая, в свою очередь, является левым притоком р. Ориноко. Водотоки в восточной части месторождения дренируются непосредственно р. Капаро, в западной части – р. Навай (правым притоком р. Капаро), а в северной и северо-восточной части – р. Камбурито (также правым притоком р. Капаро).

В гидрогеологическом плане в пределах территории исследований выделено три водоносных горизонта: водоносный горизонт $Q-K_{\text{Навай}}$, слабоводоносный локально распространенный горизонт $K_{\text{Навай}}$ и водоносный горизонт $K_{\text{Навай}} - \text{Эскандалоса}$. Наибольшее значение для оценки подземных водопритоков в карьеры имеет водоносный горизонт $Q-K_{\text{Навай}}$, так как он непосредственно будет вскрываться горными работами. Он имеет почти повсеместное распространение на площади исследований. Питание данного горизонта осуществляется главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка подземных вод происходит в результате испарения и путем сброса в гидрографическую сеть. Для карьера в секторе Ла Кулебра участка Ла Линда размером 337,5 тыс. м² получена величина водопритока 0,0014 м³/ч с 1 м².

Оценка поверхностного стока

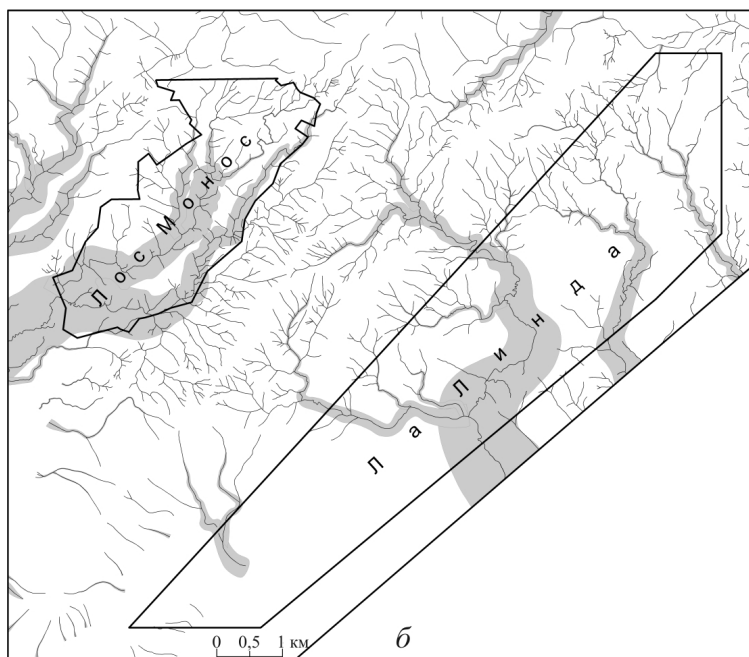
Оценка поверхностного стока в формировании водопритоков при открытой разработке месторождения Навай выполнялась на основе данных полевых гидрологических работ по изучению водности рек и ручьев, а также в результате анализа систематических стационарных гидрологических и метеорологических наблюдений.

В полевых условиях были выполнены измерения скорости и определения расходов воды на 82 пунктах в пределах территории исследований. Работы выполнялись с помощью измерителя ВГР-1. По результатам замеров в среде ГИС ArcGIS 9 была построена модель водности объектов гидрографии за период исследований (рис. 1 а).

В непосредственной близости от месторождения Навай систематические гидрологические наблюдения проводились на гидрологическом посту Навай (на р. Навай близ населенного пункта Ла Педрера). Анализ данных о среднесуточных расходах воды за многолетний период позволил выделить в районе исследований в годовом разрезе наиболее водный период, длящийся с мая по ноябрь и связанный с интенсивным выпадением атмосферных осадков, и засушливый период (декабрь – апрель). Расчленение гидрографа реки позволило выявить то, что основным типом питания водных объектов в районе месторождения является дождевой (92 %). Подземное питание составляет лишь 8 % общегодового стока.

Река Навай была использована в качестве эталона при моделировании среднемноголетней водности объектов гидрографии исследуемого участка. Итогом моделирования стала карта среднемноголетней водности рек и ручьев месторождения (рис. 1 б). Полученная расчетная модель взаимокоррелируема с моделью, построенной по результатам полевых гидрологических исследований (см. рис. 1 а).

a



б

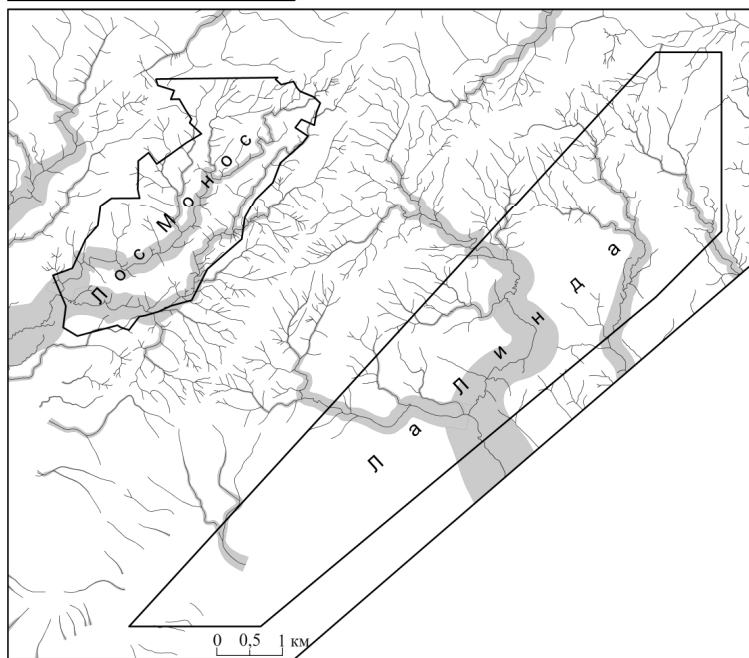


Рис. 1. Водность рек и ручьев месторождения Наваи:

a – по результатам полевых исследований в июле – сентябре 2011 г.;

б – по результатам анализа многолетних гидрологических наблюдений.

Цветом показан среднесуточный расход водотоков: 1 км в масштабе карт соответствует расходу 1 м³/с

Кроме среднесуточного расхода, по многолетним данным для территории исследований были также рассчитаны такие характеристики стока, как объем, модуль, слой, коэффициент. В геоинформационной среде ArcGIS 9 построены соответствующие картографические модели.

Количество атмосферных осадков, поступающих в карьер $Q_{\text{осад}}$, определялось по формуле

$$Q_{\text{осад}} = HF_{\text{кар}},$$

где H – месячная сумма атмосферных осадков, $F_{\text{кар}}$ – площадь карьера.

При расчетах была использована среднемесячная сумма атмосферных осадков по многолетним данным. Также учитывались зафиксированные инструментальным способом максимальные среднемесячные осадки. Расчеты выполнены для площадей карьеров Ла Линда и Лос Монос согласно календарному плану их отработки (рис. 2, табл. 1, 2).

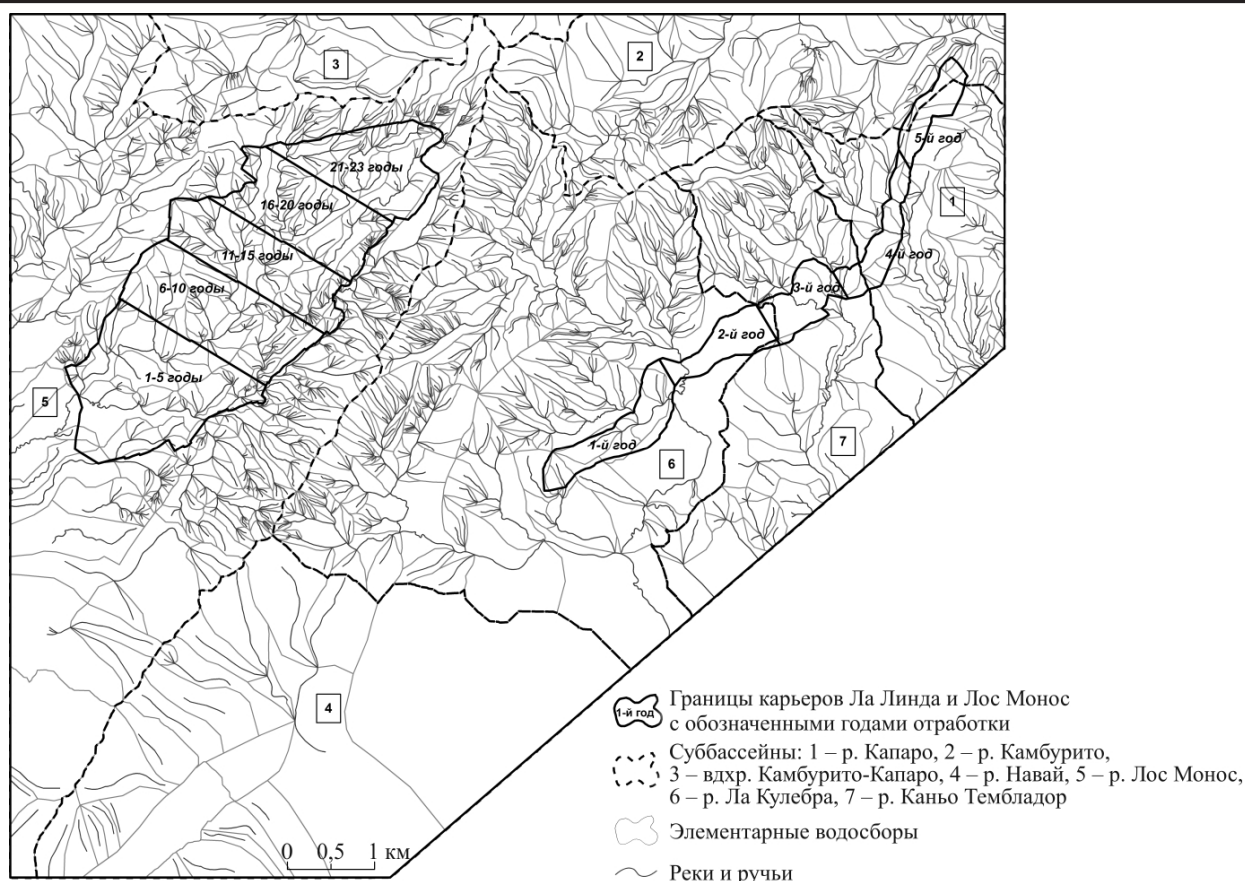


Рис. 2. Элементарные водосборы в пределах месторождения Навай, совмещенные с границами карьеров Лос Монос и Ла Линда

Таблица 1

Результаты расчетов поступления атмосферных осадков в карьер Ла Линда

Показатели	Год функционирования карьера				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Площадь карьера, м ²	734 000	469 000	483 000	465 000	376 000
Среднемесячная сумма осадков (по многолетним данным), м	0,219	0,216	0,214	0,213	0,216
Количество атмосферных осадков, которые будут поступать в карьер, исходя из среднемесячной суммы осадков (по многолетним данным), м ³ /мес.	160 623	101 343	103 321	98 928	81 310
Максимальная месячная сумма осадков, зафиксированная инструментально, м	0,671	0,671	0,671	0,671	0,671
Количество атмосферных осадков, которые будут поступать в карьер, исходя из максимальной среднемесячной суммы осадков, зафиксированной инструментально, м ³ /мес.	492 293	314 558	323 948	311 875	252 183

Таблица 2

Результаты расчетов поступления атмосферных осадков в карьер Лос Монос

Показатели	Период функционирования карьера, лет				
	1-5	6-10	11-15	16-20	20-23
Площадь карьера, м ²	2 419 000	1 790 000	1 418 000	1 453 000	1 276 000
Среднемесячная сумма осадков (по многолетним данным), м	0,238	0,237	0,237	0,237	0,236
Количество атмосферных осадков, которые будут поступать в карьер, исходя из среднемесячной суммы осадков (по многолетним данным), м ³ /мес.	574 714	424 677	336 066	343 997	300 923
Максимальная месячная сумма осадков, зафиксированная инструментально, м	0,671	0,671	0,671	0,671	0,671
Количество атмосферных осадков, которые будут поступать в карьер, исходя из максимальной среднемесячной суммы осадков, зафиксированной инструментально, м ³ /мес.	1 622 423	1 200 553	951 052	974 527	855 813

Объем поверхностного стока, необходимый для водоотведения $Q_{\text{поверх. ст.}}$, был определен по формуле

$$Q_{\text{поверх. ст.}} = hF_{\text{водосб. пл.}}$$

где h – слой стока за месяц, $F_{\text{водосб. пл.}}$ – площадь водосборов, сток которых направлен в карьер.

В результате гидрологического ГИС-моделирования на основе модели гипсометрии месторождения Topogrid, выполненного с помощью линейки инструментов Hydrology модуля Spatial Analyst ArcGIS 9, в пределах района месторождения было выделено семь крупных суббассейнов и более 1,5 тыс. элементарных водосборов. Водосборные площади, сток которых направлен в карьер, определялись по модели элементарных водосборов, совмещенной с намеченными ОАО «Белгорхимпром» границами карьеров (см. рис. 2). При расчетах данных водопритоков использованы показатели среднемесячного слоя стока по многолетним данным, а также максимального стока, зафиксированного инструментальным способом (табл. 3, 4).

Таблица 3

Объем поверхностного стока, который необходим к водоотведению (карьер Ла Линда)

Показатели	Год функционирования карьера				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Площадь элементарных водосборов, сток которых направлен в карьер, м ²	1 631 683	7 440 355	2 588 183	1 098 886	54 222
Среднемесячный слой стока (по многолетним данным), м	0,151	0,151	0,146	0,143	0,143
Объем поверхностного стока, который необходим к водоотведению, исходя из среднемесячного слоя стока (по многолетним данным), м ³ /мес.	245 568	1 119 773	376 796	157 415	7 767
Максимальный среднемесячный слой стока, рассчитанный исходя из максимального, зафиксированного инструментальным способом расхода на реке Навай, м	0,841	0,841	0,818	0,814	0,814
Объем поверхностного стока, который необходим к водоотведению, исходя из максимального среднемесячного слоя стока, м ³ /мес.	1 371 453	6 253 724	2 118 138	894 493	44 136

Таблица 4

Объем поверхностного стока, который необходим к водоотведению (карьер Лос Монос)

Показатели	Период функционирования карьера, лет				
	1–5	6–10	11–15	16–20	20–23
Площадь элементарных водосборов, сток которых направлен в карьер, м ²	12 887 686	8 341 633	6 128 430	3 443 933	1 444 959
Среднемесячный слой стока (по многолетним данным), м	0,161	0,161	0,161	0,161	0,161
Объем поверхностного стока, который необходим к водоотведению, исходя из среднемесячного слоя стока (по многолетним данным), м ³ /мес.	2 073 843	1 342 307	986 166	554 186	232 517
Максимальный среднемесячный слой стока, рассчитанный исходя из максимального, зафиксированного инструментальным способом расхода на реке Навай, м	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Объем поверхностного стока, который необходим к водоотведению, исходя из максимального среднемесячного слоя стока, м ³ /мес.	11 596 597	7 505 967	5 514 484	3 098 919	1 300 202

На основании сказанного можно сделать следующие выводы.

1. Климатические условия месторождения Навай достаточно благоприятны для отработки его карьерным способом. Из неблагоприятных явлений необходимо отметить тропические ливни сезона дождей. Поэтому рекомендуется иметь на объекте насосное оборудование, мощность которого превышает максимально возможные суточные осадки.

2. Район месторождения Навай в гидрографическом плане расположен в бассейне р. Капаро, левого притока р. Апуре, которая, в свою очередь, является левым притоком р. Ориноко. По результатам гидрологического ГИС-моделирования в пределах района месторождения выделены семь крупных суббассейнов и более 1,5 тыс. элементарных водосборов.

3. По результатам полевых гидрологических исследований, проведенных в июле – сентябре 2011 г., построена карта водности объектов гидрографии месторождения за период исследований. На основании данных о среднемноголетнем расходе р. Навай создана модель среднемноголетней водности объектов гидрографии исследуемого участка.

4. Анализ данных о средних, минимальных и максимальных расходах р. Навай на гидрологическом посту Навай позволяет выделить в годовом разрезе наиболее водный период, длящийся с мая по ноябрь и связанный с интенсивным выпадением атмосферных осадков, и засушливый период (декабрь – апрель).

5. Основным типом питания водных объектов в районе месторождения является дождевой, вторым по значению типом – подземный. По расчлененному гидрографу р. Навай были определены доли дождевого и подземного питания в годовом разрезе. Они составили 92 и 8 % соответственно.

6. Рассчитаны основные характеристики поверхностного стока (расход воды, объем, модуль, слой и коэффициент стока).

7. Определено прогнозируемое количество атмосферных осадков, которые будут поступать в карьеры Лос Монос и Ла Линда, рассчитан объем поверхностного стока в карьеры, подлежащий водоотведению.

8. Результаты исследований планируется использовать при проектировании и строительстве системы осушения, а также возведении гидротехнических сооружений.

Поступила в редакцию 22.12.11.

Дмитрий Мирославович Курлович – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры почвоведения и земельных информационных систем.

Виталий Эдуардович Кутырло – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий сектором геологии и разведки месторождений полезных ископаемых научно-исследовательского геолого-экологического отдела ОАО «Белгорхимпром».