

Результаты опережающих биогеохимических и литогеохимических работ по оценке бороносности на Линевской площади в Оренбургской области

В 2014 г. в рамках Государственного контракта №169 от 18.03.2014 г. «Поисковые работы на борные руды в пределах Линевской площади (Оренбургская область)» были проведены опережающие площадные профильные литогеохимические, биогеохимические и геофизические работы с целью выбора перспективных участков и определения оптимальной сети поисковых скважин на галогенные борные руды. В данной статье представлены результаты биогеохимических и литогеохимических исследований, и дан анализ зависимости расположения аномалий повышенного содержания бора в пробах почвенного горизонта и растениях-фреатофитах, характеризующихся глубокопроникающей корневой системой, от гипсометрического уровня рельефа и пространственного расположения блоков, выделенных в пределах Линевской площади. Выполненный анализ показал, что площадь перспективна для изучения и постановки поисковых работ для выявления бороносности отложений нижнепермского галогенного комплекса. В восточной и центральной частях Линевской площади прослежены наиболее высокие аномальные содержания бора в почвенном горизонте и растениях.

Ключевые слова: бор, поиск, литогеохимия, биогеохимия, анализ, почва, растение, карта, Линевская площадь, Оренбургская область.

Впервые биогеохимические методы были проведены в 1954 г. на Индерском месторождении для решения вопроса о возможности его использования при поисках бора. Они заключались в проведении опытных работ на ашаритовой и улеситовой залежах с незначительной глубиной залегания (до 5 м). Работы проводились по профилям, ориентированным вкрест простирания рудных тел по сетке 20x10 м, с отбором в каждой точке пробы почвы и 2-3 видов растений с различной глубиной проникновения корневой системы. Бор определялся отдельно в каждом виде растения.

На улеситовом месторождении опробовались натронная солянка (*Salsola nitraria*), кермек полукустарничковый (*Limonium suffruticosum*), итсечек (*Anabasis aphylla*), селитрянка (*Nitrtaria schoberi*), чий (*Stipa splendens*), белая полынь (*Artemisia dercheana*). На месторождении ашарита подвергались опробованию ковыль сарептский (*Stipa sareptana*), житняк (*Agropiron deserterum*), терескен (*Eurotia ceratoides*), спирея (*Spiraea rupericifolia*).

Выявлено, что в пределах ореолов рассеяния бора над рудными телами, его содержание в растениях повышается в десятки и сотни раз по сравнению с фоновым, но все же оно, как правило, значительно ниже, чем в почвах.

Получен важный вывод, что схемы поверхностных боропроявлений, составленные по результатам опробования растений, точнее отражают контуры оруденения по сравнению со схемами опробования почв (Швыряева, 1957). Последние дают более пеструю картину поверхностных боропроявлений, поскольку неравномерность распределения бора в почвах бывает связана с засолением грунтов, вследствие чего литологический состав пород, условия микрорельефа и ряд других факторов осложняют характер поверхностных боропроявлений. По данным проведенных исследований, на рудных аномалиях высокие концентрации бора в поверхностных горизонтах почвы связаны с его миграцией из рудной зоны и все растения, независимо от глубины проникновения корневой си-

стемы, будут содержать повышенные концентрации бора (Рис. 1). Поэтому, в поисковых целях, наибольший интерес представляют растения-фреатофиты с глубокопроникающей корневой системой, существование которых связано с грунтовыми водами. Исследования показали, что в пределах залежи, где грунтовая вода обнаруживает высокие концентрации бора, его содержание в растениях-фреатофитах в десятки и сотни раз выше, чем за ее контурами.

Корневая система растений проникает в более глубокие горизонты почв и пород, геохимический режим которых более постоянный, поэтому химический состав растений может точнее отражать наличие борного оруденения под рыхлым покровом.

Биогеохимический метод зарекомендовал себя после того, как на Индерском месторождении его применение поисковой группой А.М. Швыряевой в 1954 г., привело к открытию новых залежей элювиальных боратов. Был сделан важный вывод о возможности использования биогеохимического метода для поисков месторождений бора на соляных куполах типа Индер. Биогеохимический метод

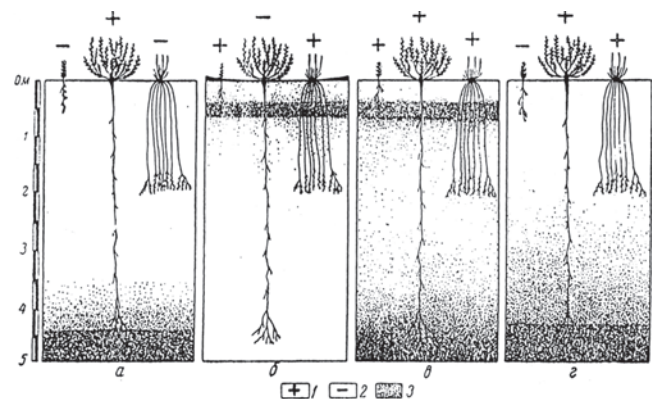


Рис. 1. Схема зависимости содержания бора в растениях от глубины проникновения корневой системы и распределения бора в породах (по данным А.М. Швыряевой, 1957). 1 – повышенное содержание бора в растениях; 2 – кларковое содержание; 3 – горизонты, обогащенные бором.

дал положительный результат при поисках бора на проявлении Баскунчак, первом в России объекте с апробированными прогнозными ресурсами элювиальных боратов категории P_2 (Закирова и др., 2011).

В 2014 году в пределах Линевской площади были проведены полевые работы с целью выявления участков, перспективных в отношении бороносности. Были отобраны пробы почвенного слоя и зеленой массы растений для химического анализа. На Линевской площади биогеохимические работы выполнялись по 19 профилям в комплексе с литогеохимическим отбором проб (Рис. 2). Было отобрано 438 биогеохимических проб растений-фреатофитов, концентратов бора (Прутняк (*Kochia*) – 251 проба, Марь мелколиственничная – 93 пробы, Карагач – 94 пробы). Отбор зеленой массы по профилям проводился только в местах наличия этих растений в точках отбора литогеохимических проб. По 19 профилям было отобрано 1116 литогеохимических проб глин из иллювиального почвенного горизонта. Определение бора в биогеохимических и литогеохимических пробах проводилось эмиссионным спектральным анализом (инструкция НСАМ №15 С. Количественное определение бора).

За биогеохимические аномалии в опробуемых растениях (Прутняк (*Kochia*), Марь мелколиственничная, Карагач) принимались пробы с содержанием бора более $8 \cdot 10^{-3} \%$ (интервал по участку – от $8 \cdot 10^{-3} \%$ до $33 \cdot 10^{-3} \%$), при фоно-

вых содержаниях бора в растениях – $7 \cdot 10^{-3} \%$ (по А.М. Швыряевой, 1957). За литогеохимические аномалии принимались пробы почвы с содержанием бора более $4,4 \cdot 10^{-3} \%$ (интервал по участку – от $4,4 \cdot 10^{-3} \%$ до $7,6 \cdot 10^{-3} \%$), при фоновых содержаниях бора в почвах – $10 \cdot 10^{-6} \%$ (по А.П. Виноградову, 1956) и в почвах районов с борной минерализацией – $3,9 \cdot 10^{-3} \%$ (по Э.К. Буренкову и др., 1965).

Для выявления закономерностей размещения и зависимости био- и литогеохимических аномалий на Линевской площади был проведен анализ распределения гипсометрических уровней всего участка работ с построением гистограммы высот рельефа, приведенный на рис. 3. Для понимания распределения различных гипсометрических уровней по площади земной поверхности в пределах участка был проведен статистический анализ рельефа всего участка работ с построением гистограммы высот рельефа (Рис. 3а).

По результатам полевых и аналитических работ был проведен пространственный анализ данных с их систематизацией, построением карт, диаграмм и графиков.

Анализируя гистограмму распределения высотных значений по площади земной поверхности, можно выделить два пика. Первый пик – это максимальные площади с отметками 95-98 м – 2 км², и второй – площадь в 1,2 км² с отметками 117-119 м. Кроме них, выделено 5 менее значимых по распространению площадей (~0,7 км²) на высот-

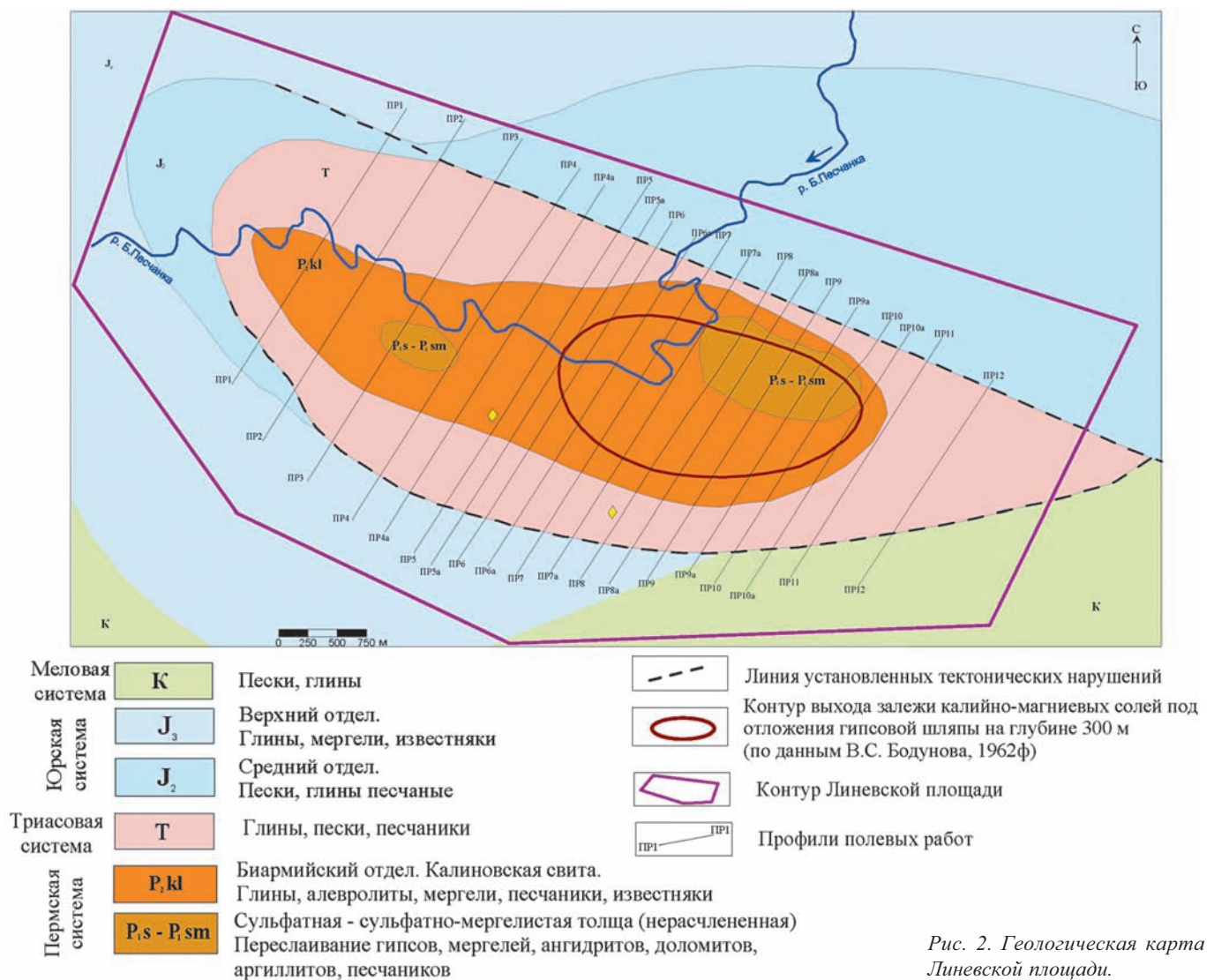
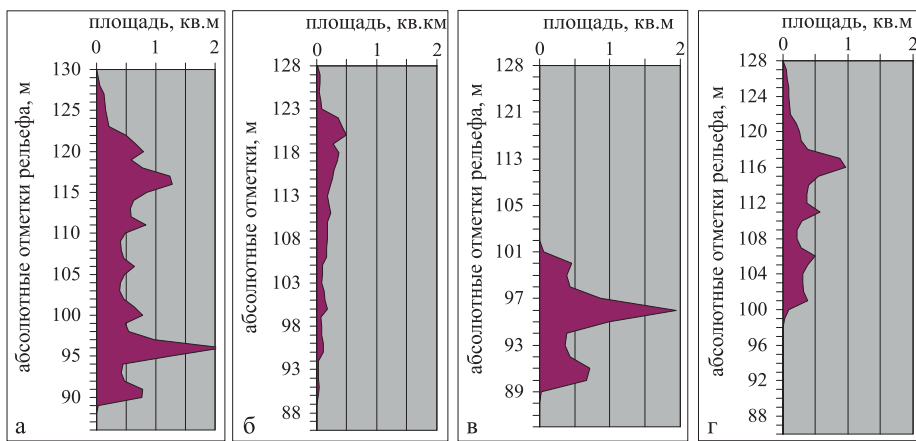


Рис. 2. Геологическая карта Линевской площади.



склона – 10‰. Максимальное значение площади земной поверхности – 0,5 км² приходится на абсолютные отметки 120–122 м. Минимальная абсолютная отметка рельефа – 88,7 м, максимальная – 127,3 м, среднее значение по рельефу – 112 м, амплитуда высот – 38,6 м. Центральная часть блока приподнята. Ограничивается блок с южной и восточной стороны рекой Большая Песчанка, с севера и запада границами участка. Гистограмма распределения абсолютных отметок рельефа представлена на рисунке 3б.

Рис. 3. Гистограмма распределения абсолютных отметок рельефа в пределах: а) всей Линевской площади; б) северо-западного блока (1); в) юго-западного блока (2); г) восточного блока (3).

ных отметках 90–92 м, 100–102 м, 106–108 м, 111–113 м и 121–123 м. Минимальная абсолютная отметка рельефа рассматриваемого участка составляет 88,7 м, максимальная – 129,3 м, среднее значение по рельефу – 106 м, амплитуда высот – 40,6 м. Таким образом, видно, рельеф участка не однороден, что зависит как от геологического строения, так и от внешних агентов денудации, таких как перепад температур, воздействие поверхностных вод и ветровой эрозии.

Для более детального анализа исследуемая площадь по геоморфологическим критериям (абсолютные отметки высот, среднеквадратичное отклонение абсолютных отметок, амплитуда между минимальными и максимальными значениями абсолютных отметок высот, крутизна склона) была разделена на три блока (участка). Деление по блокам представлено на рисунке 4, на котором также показаны основные литогео- и биогеохимические аномалии.

Блок (1) охватывает северо-западную часть участка, его площадь составляет 4,9 км², крутизна восточного склона равна 40‰, северо-западного склона – 38‰, западного

Юго-западный блок (2) – юго-западная часть участка, площадь блока составляет 6,5 км². Рельеф пологий. Максимальное значение площади земной поверхности ~2 км² приходится на абсолютные отметки 96–97 м. Минимальная абсолютная отметка рельефа – 88,8 м, максимальная – 104,8 м, среднее значение по рельефу – 94,6 м, амплитуда высот – 16 м. Высоты равномерно убывают в западном направлении. Блок с севера ограничивается р. Большая Песчанка. С запада и юга ограничивается границами участка, с востока – восточным блоком (3). Гистограмма распределения абсолютных отметок рельефа блока 2 представлена на рисунке 3в.

Блок восточный (3) занимает восточную часть участка, площадь блока 7,9 км², крутизна склона в западном направлении составляет 8‰. Максимальное значение площади земной поверхности приходится на абсолютные отметки 116–118 м. Минимальная абсолютная отметка рельефа – 95,7 м, максимальная – 127,4 м, среднее значение по рельефу – 117,7 м, амплитуда высот – 31,7 м. Гистограмма распределения абсолютных отметок рельефа блока 3 представлена на рисунке 3г. Блок с запада ограничивается р. Большая Песчанка и юго-западным блоком. С восточной, северной и южной стороны – границами участка.

Детальный анализ гипсометрических уровней, выде-

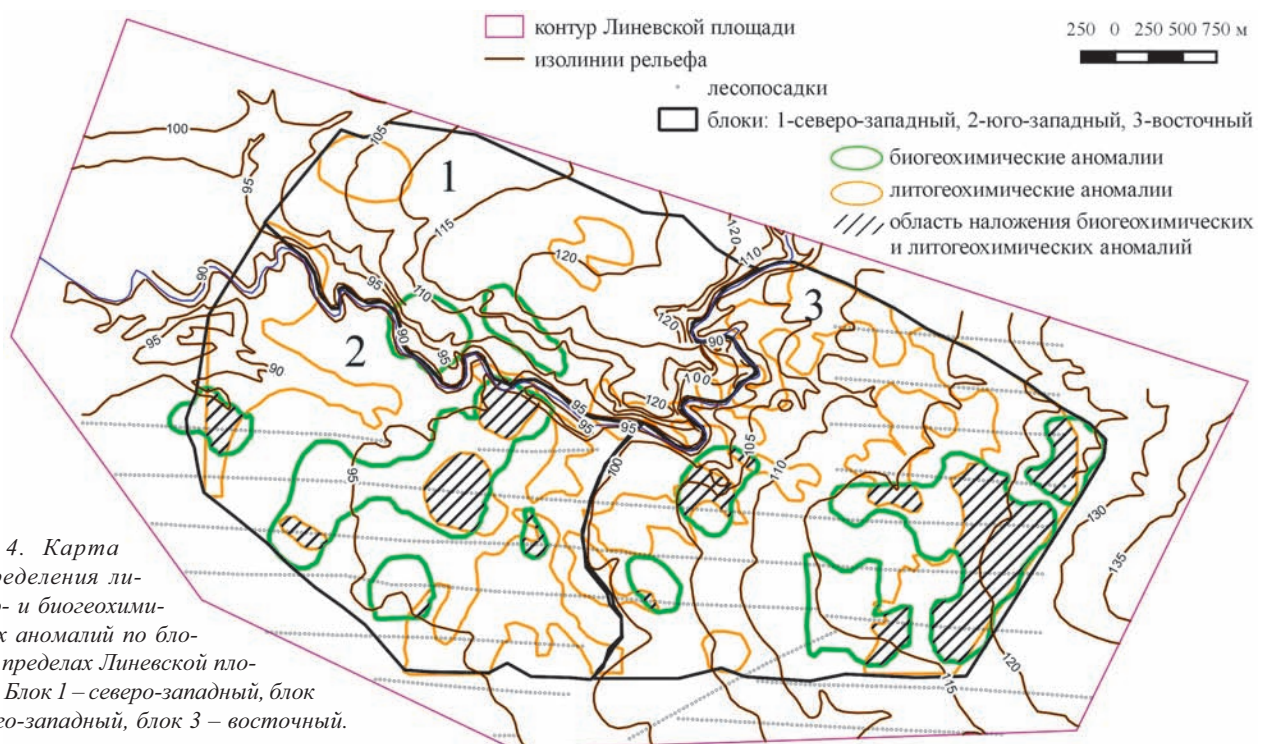


Рис. 4. Карта распределения литогео- и биогеохимических аномалий по блокам в пределах Линевской площади. Блок 1 – северо-западный, блок 2 – юго-западный, блок 3 – восточный.

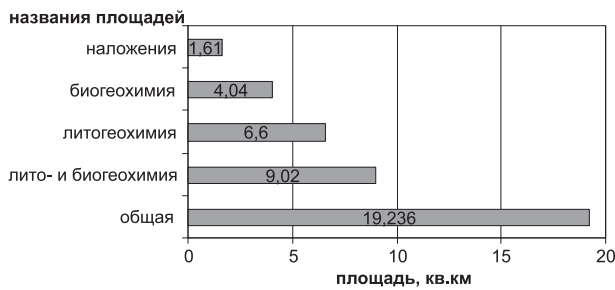


Рис. 5. Диаграмма распределения площадей аномалий.

ленных нами в ходе исследования блоков участка, показал, что для северо-западного блока (1) максимальные значения площади земной поверхности – 0,5 км² – приходятся на абсолютные отметки 120-122 м, для юго-западного блока (2) ~2 км² – на абсолютные отметки 96-97 м и восточного блока (3) ~1 км² – на 116-118 м. Из биогеохимических аномалий, наибольшую площадь занимает аномалия по растительному виду – Карагач, она составляет 3,2 км², площадь аномалии по Мари мелколиственничной равна 0,63 км², наименьшая площадь аномалий по Прутьяку (*Kochia*) – 0,21 км². Вследствие того, что распространение опробуемых растительных видов по участку работ неравномерно, то для анализа используются обобщенные данные по биогеохимическим аномально высоким значениям бора, которые включают в себя аномалии по следующим видам растений: Карагачу, Мари мелколиственничной, Прутьяку (*Kochia*). Общая площадь биогеохимических аномалий составила 4,04 км². Площадь литогеохимических аномалий по всему участку работ – 6,59 км². Распределение площадей аномалий на всем участке представлено на рисунке 3. Выделены области наложения литогео- и биогеохимических аномалий, их площадь равна 1,61 км². Суммарная площадь геохимических аномалий (литогеохимические и биогеохимические) по всему участку работ составляет 9,0 км² (Рис. 5).

Математико-статистическая обработка собранных данных. Геологические явления очень сложны и многообразны и находятся в тесных взаимосвязях друг с дру-

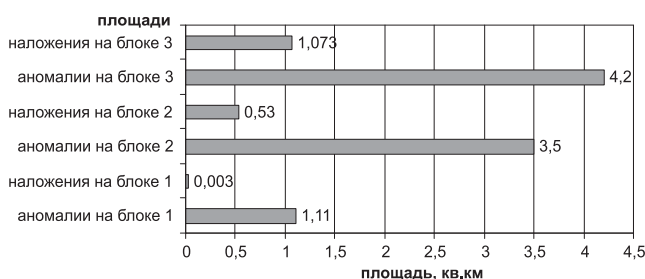


Рис. 6. Гистограммы распределения литогео- и биогеохимических аномалий по блокам в пределах Линевской площади.

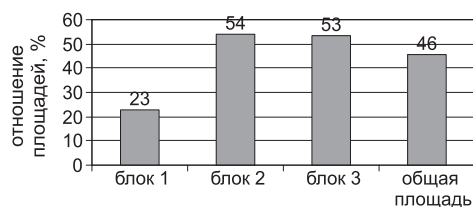


Рис. 7. Гистограмма отношения площади суммарных аномалий (литогео- и биогеохимических) к площади работ.

гом. Поэтому чтобы познать какое-либо явление, необходимо изучить его не только таким, какое оно есть, но во всех сложных взаимоотношениях (взаимосвязях) с окружающими явлениями. Взаимосвязь явлений хорошо изучается методами корреляционного анализа. При изучении геологических явлений очень часто нельзя изолировать влияние посторонних факторов либо потому, что эти факторы не известны, либо невозможна их изоляция. Корреляционный анализ применим и в этом случае, и позволяет даже при сложном взаимодействии посторонних влияний выяснить, какова была бы зависимость между результатом и фактором, если бы посторонние факторы не изменялись и своими изменениями не искажали основную зависимость.

Эмпирические меры тесноты связи позволяют оценить степень связанности двух признаков. Наибольшим распространением пользуется линейный коэффициент корреляции r , который наиболее точно отражает величину связи в случае нормального распределения рассматриваемых признаков и прямолинейной зависимости одного от другого (мера взаимосвязи измеренных явлений). С некоторым приближением его обычно применяют и при несоблюдении указанных условий. Линейный коэффициент корреляции между признаками $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и $y=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ определяется по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}},$$

где средние значения признаков равны:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

Коэффициент корреляции изменяется от -1 до +1. Если $r=0$, связь отсутствует. При $r = |1|$ связь является функциональной, а при $r \neq 1$ – статистической. Если $r > 0$, то связь прямая (положительная), а в случае $r < 0$ – связь обратная (отрицательная), т.е. с ростом величин одного рассматриваемого параметра величина другого параметра убывает (Бахтин, Нуриева, 2013).

Был рассчитан коэффициент корреляции между распределением бора по данным площадным литогеохимическим исследованиям, распределением бора в растительных объектах и поверхностью рельефа всего участка работ. Результаты представлены в таблице 1.

Вычисленные коэффициенты корреляции по всей площади участка показывают очень слабую зависимость.

По выделенным блокам был проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в таблицах 2-4.

	Биогеохимические исследования	Литогеохимические исследования	Поверхность рельефа
Биогеохимические исследования	-	0,09	-0,11
Литогеохимические исследования	0,09	-	-0,006
Поверхность рельеф	-0,11	-0,006	-

Табл. 1. Коэффициенты корреляции между литогео- и биогеохимическими исследованиями и поверхностью рельефа на всем участке работ.

	Биогеохимические исследования	Литогеохимические исследования	Поверхность рельефа
Биогеохимические исследования	-	-0,33	-0,004
Литогеохимические исследования	-0,33	-	-0,14
Поверхность рельефа	-0,004	-0,14	-

Табл. 2. Коэффициенты корреляции между литогео- и биогеохимическими исследованиями и поверхностью рельефа по северо-западному блоку.

	Биогеохимические исследования	Литогеохимические исследования	Поверхность рельефа
Биогеохимические исследования	-	0,05	-0,07
Литогеохимические исследования	0,05	-	0,05
Поверхность рельефа	-0,07	0,05	-

Табл. 3. Коэффициенты корреляции между литогео- и биогеохимическими исследованиями и поверхностью рельефа по юго-западному блоку.

	Биогеохимические исследования	Литогеохимические исследования	Поверхность рельефа
Биогеохимические исследования	-	0,16	0,13
Литогеохимические исследования	0,16	-	0,31
Поверхность рельефа	0,13	0,31	-

Табл. 4. Коэффициенты корреляции между литогео- и биогеохимическими исследованиями и поверхностью рельефа по восточному блоку.

По северо-западному блоку выявлена отрицательная корреляция между содержанием бора в литогео- и биогеохимических пробах -0,33, т.е. при повышенных концентрациях бора в растительности отмечаются невысокие концентрации бора в опробованном почвенном горизонте.

Наблюдается обратная слабая взаимосвязь между содержанием бора в почвенном горизонте и поверхностью рельефа.

По юго-западному блоку корреляций между литогео- и биогеохимическими исследованиями и поверхностью рельефа не наблюдается (очень маленькие значения коэффициента корреляции).

По восточному блоку получена положительная (прямая) взаимосвязь между поверхностью рельефа и содер-

жанием бора в почвенном горизонте 0,31, т.е. с увеличением абсолютных отметок поверхности рельефа наблюдается увеличение концентрации бора в почве. Также отмечается слабая положительная (прямая) связь между литогео- и биогеохимическими исследованиями, т.е. при повышенных концентрациях бора в растительности наблюдаются повышенные концентрации бора в почвенном горизонте. Выявлена прямая связь между биогеохимическими исследованиями и поверхностью рельефа (на возвышенности наблюдаются повышенные концентрации бора в растительности).

Общая картина на восточном блоке выглядит так – с увеличением абсолютных отметок рельефа (повышение рельефа в восточной части блока) увеличиваются концентрации бора в литогео- и биогеохимических пробах.

Распределение литогео- и биогеохимических аномалий, их наложений по блокам представлено в виде гистограммы на рисунке 6.

На северо-западном блоке (1) выявлено наименьшее распределение литогео- и биогеохимических аномалий (площадь аномалий 1 блока 1,11 км²) и наименьшая площадь их наложения (площадь наложений блока 1 – 0,003 км²), максимальное значение литогео- и биогеохимических аномальных концентраций бора на этом блоке составляет 5,7*10⁻³ и 18*10⁻³, соответственно. На юго-западном блоке (2) площадь аномалий составляет 3,5 км², площадь наложений – 0,53 км², максимальное значение литогео- и биогеохимических аномальных концентраций бора на этом блоке составляет 6,2*10⁻³ и 19*10⁻³, соответственно.

На восточном блоке (3) площадь аномалий составляет 4,2 км², площадь наложений аномалий 1,073 км², максимальное значение литогео- и биогеохимических аномальных концентраций бора на этом блоке составляет 6,7*10⁻³ и 33*10⁻³, соответственно. Наиболее интересным, с точки зрения распространения площадей литогео- и биогеохимических аномалий, наибольшей площади их наложений, а также аномальных концентраций бора, является восточный блок (3).

Подсчитаны отношения суммарных площадей аномальных областей (литогео- и биогеохимических аномалий) к площади отдельного блока и по всей площади участка работ (Рис. 7). На гистограмме видно, что суммар-

Оценочные параметры	Всего по участку	Блок 1 (северо-западный)	Блок 2 (юго-западный)	Блок 3 (восточный)
Минимальные абс. отметки, м	88,7	88,7	88,8	95,7
Максимальные абс. отметки, м	129,3	127,3	104,8	127,4
Средние абс. отметки, м	106	112	94,6	117,7
Амплитуды высот, м	40,6	38,6	16	31,7
Максимальные концентрации бора в листьях растений	33*10 ⁻³	18*10 ⁻³	19*10 ⁻³	33*10 ⁻³
Максимальные концентрации бора в почвах	6,7*10 ⁻³	5,7*10 ⁻³	6,2*10 ⁻³	6,7*10 ⁻³
Площадь, км ²	19,3	4,9	6,5	7,9
Суммарная площадь литогео- и биогеохимических аномалий, км ²	9	1,11	3,5	4,2

Табл. 5. Результаты анализа зависимости аномальных концентраций бора в почвах и листьях кустарников от гипсометрического уровня земной поверхности Линевского участка.

ные площади аномалий (лито- и биогеохимические) от общей площади участка работ занимают 46%. Минимальные значения характеризуют северо-западный блок – 23%, наиболее высокие – юго-западный и восточный блоки – 54 и 53%, соответственно.

Выводы

По результату проведенного пространственного анализа можно сделать вывод о перспективности Линевской площади в целом, т.к. на всей территории участка работ прослеживаются высокие значения бора в почвенном горизонте и в листьях растений.

Анализ блоков участка показал, что на **северо-западном** блоке с увеличением содержания бора по глубине (по данным биогеохимических исследований) происходит его убывание в почвенном горизонте, и наоборот.

На **восточном** блоке отмечается увеличение содержания бора в почвенном горизонте с одновременным его увеличением на глубине (по данным биогеохимических исследований). Наибольшая площадь наложения литогео- и биохимических аномалий и концентраций бора также наблюдается на этом блоке. Отношение суммарных площадей литогео- и биохимических аномалий по блоку к его общей площади составляет 53%. Так как по высотным отметкам **восточный** блок расположен выше **юго-западного**, можно предположить, что происходит миграция бора с безнапорными водами, движущимися под действием силы тяжести, с более высокого гипсометрического уровня на более низкий, с **восточного** блока на **юго-западный**.

Для дальнейшего изучения и постановки буровых работ по проведенному пространственному анализу как первоочередной блок рекомендуется – **восточный, юго-западный** блок – второй очереди, **северо-западный** блок – третьей очереди.

Литература

Буренков Э.К., Кузина К.И. О значении поисковой достоверности растений-индикаторов при поисках полезных ископаемых (на примере поисков месторождений бора). *Советская геология*. 1965. №8.

Виноградов А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. *Геохимия*. 1956. №1.

Закирова Ф.А., Фролова Н.А., Волков А.Е., Романова Т.А., Усманова А.В. Перспективы бороносности структуры Баскунчак, Астраханская область. *Разведка и охрана недр*. 2011. №11. С. 16-23.

Статистические методы в геологии: учебное пособие. А.И. Бахтин, Е.М. Нуриева. Казань: Казанский университет. 2013. 140 с.
Швыряева А.М. О возможности применения биогеохимического метода при поисках борного сырья. М: Госгеолтехиздат. 1957. С. 305-312.

Сведения об авторах

Фирдус Абдрахмановна Закирова – канд. геол.-мин. наук, заместитель заведующего отделом промышленных минералов, Почетный разведчик недр

Федор Владимирович Семенов – научный сотрудник

Румия Закаряевна Кириллова – научный сотрудник

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых» («ЦНИИГеолнеруд»)

420097, г. Казань, ул. Зинина, 4. Тел: (843) 236-52-24

Early Bio-Geochemical and Litho-Geochemical Works for the Assessment of Boron Potential on Linevsky Area in the Orenburg Region

F.A. Zakirova, F.V. Semenov, R.Z. Kirillova

Central Research Institute of Geology of Non-metallic Mineral Resources (FSUE «TsNIIgeolnerud»), Kazan, Russia
e-mail: root@geolnerud.net, firdausgeo@mail.ru

Abstract. In 2014, under the State contract No. 169 of March 18, 2014, “Search works on boron ore within Linevsky area (Orenburg region)” early areal profile litho-geochemical, bio-geochemical and geophysical works were carried out in order to select promising areas and determine optimal grid of prospecting wells for halogen boron ore. This article presents bio-geochemical and litho-geochemical studies and analyzes anomalies of high boron content in samples of soil and phreatophyte plants with deep roots, and their location related to hypsometric level of relief and spatial arrangement of blocks within Linevsky area. The analysis showed that the area is promising for detection of boron deposits in Lower Permian halogen complex. In the eastern and central parts of the area highest anomalous boron content is found in soil and plants.

Keywords: boron, search, litho-geochemistry, bio-geochemistry, analysis, soil, plant, map, Linevsky, area, Orenburg region.

References

Burenkov E.K., Kuzina K.I. O znachenii poiskovoy dostovernosti rasteniy-indikatorov pri poiskakh poleznykh iskopaemykh (na primere poiskov mestorozhdeniy bora) [On the importance of search engine reliability of indicator plants during prospecting for minerals (on example of prospecting for boron deposits)]. *Sovetskaya geologiya* [Soviet geology]. 1965. №8.

Vinogradov A.P. Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh

elementov v zemnoy kore [Laws of distribution of chemical elements in the Earth's crust]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 1956. №1.

Zakirova F.A., Frolova N.A., Volkov A.E., Romanova T.A., Usmanova A.V. Perspektivy boronosnosti struktury Baskunchak, Astrakhanskaya oblast' [Prospects for searches on the halogen borates of Baskunchak structure in the Northern Prikaspy]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources]. 2011. №11. Pp. 16-23.

Statisticheskie metody v geologii: uchebnoe posobie [Statistical methods in geology: tutorial]. A.I. Bakhtin, E.M. Nurieva. Kazan: Kazansk. universitet Publ. 2013. 140 p.

Shvyryaeva A.M. O vozmozhnosti primeniya biogeokhimicheskogo metoda pri poiskakh bornogo syr'ya [On the possibility of the use of bio-geochemical methods in the process of prospecting for boron raw materials]. Moscow: «Gosgeoltekhizdat» Publ. 1957. Pp. 305-312.

Information about authors

Firdus A. Zakirova – PhD (Geol. and Min.), Deputy Head of the Industrial Minerals Department

Fedor V. Semenov – Researcher

Rumiya Z. Kirillova – Researcher

Central Research Institute of Geology of Non-metallic Mineral Resources (FSUE «TsNIIgeolnerud»)

420097, Russia, Kazan, Zinina str. 4. Phone: (843)236-52-24