

УДК 504.3.52.003.1(571.51)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СЕВЕРНОМ ПРИАНГАРЬЕ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)

О.Г. Савичев, Ю.Г. Копылова, А.А. Хвощевская

Томский политехнический университет

E-mail: OSavichev@mail.ru

Приведены результаты оценки эколого-геохимического состояния компонентов окружающей среды в правобережной части бассейна р. Ангара на участке её нижнего течения (Северное Приангарье). Выполнен расчёт фоновых значений гидрохимических и геохимических показателей. Показано, что на рассматриваемой территории выделяются два основных ландшафта – водораздельных пространств и речных долин, состояние которых по степени отклонения от фона и предельно допустимых концентраций может быть охарактеризовано как удовлетворительное. Геохимический тип ассоциации химических элементов в пределах речных долин – лито-халькофильный, в пределах водоразделов – сидеро-лито-существенно халькофильный.

Ключевые слова:

Эколого-геохимическое состояние, окружающая среда, геохимический фон, Северное Приангарье, Восточная Сибирь.

Key words:

Ecological and geochemical condition, environment, geochemical background, Northern part of Angara river basin, Eastern Siberia.

Введение

В последние годы в Восточной Сибири проводятся достаточно интенсивные работы по строительству четвертого (Богучанского) гидроузла на р. Ангара, а также разведке и обустройству нефтегазовых месторождений, что определяет актуальность определения современного состояния компонентов окружающей среды в целях последующей оценки его антропогенных изменений. В данной работе приведены результаты выполненного в 2008–2009 гг. исследования эколого-геохимического состояния почв, торфов, поверхностных, подземных и снеговых вод, атмосферного воздуха, растительного покрова в правобережной части водосбора р. Ангара на участке её нижнего течения ниже по течению от плотины Богучанской ГЭС. Исследование включало полевые и лабораторные работы, анализ полученных материалов с применением геоинформационных систем, оценку современного эколого-геохимического состояния поверхностных, подземных, снеговых вод, атмосферного воздуха, почв и торфов, растительности, донных отложений на участках без признаков явно выраженного антропогенного воздействия. Схема размещения района исследований в Северном Приангарье приведена на рисунке.

Методика исследований

Полевые работы выполнены совместно с ООО «ИНГЕОТЕХ» с целью получения фактических данных путем сопряженного геохимического опробования компонентов природной среды. Отбор минеральных почв проводился с учетом вертикальной структуры, неоднородности покрова почвы и рельефа. Пробы отбирались по профилю преимущественно из почвенного горизонта А (в ряде случаев А и В) с таким расчетом, чтобы в каждом случае проба представляла собой часть почвы, типичной для генетических горизонтов или слоев данного типа почвы. Пробы природных почв отбирались

из разрезов, полуям и прикопок на всю мощность генетического горизонта. Пробы торфа отбирались из деятельного горизонта из скважин, расположенных вокруг пункта отбора в радиусе до 2 м торфоразведочным буром ТБГ-1. Очесный слой из челнока бура удалялся. Донные отложения опробывались в створах отбора проб речных вод из поверхностного слоя донных отложений с помощью штангового дночерпателя ГР-91 (с нарушением стратификации) с последующим отбором фракции менее 1 мм. Для отбора проб поверхностных вод использовался батометр-бутылка ГР-16М на штанге ГР-56М. Батометр погружался в воду на глубину 0,3...0,5 м от поверхности.

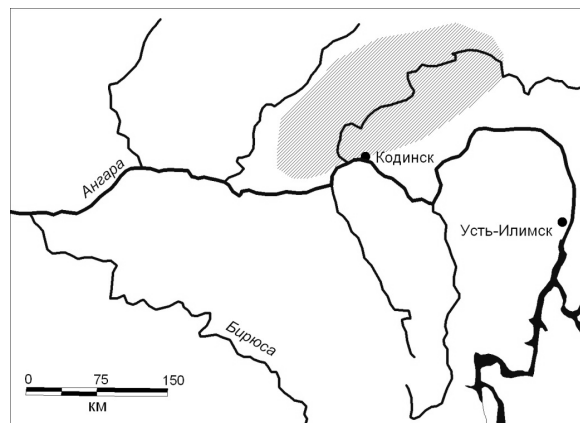


Рисунок. Схема расположения района исследований в Северном Приангарье

При опробовании снегового покрова ручным способом отбиралась объединенная проба, которая переводилась в талую воду при комнатной температуре в сборных емкостях. Пленки, образующиеся на поверхности талой воды и на стенках сборной емкости, смывались талой водой в сосуды для хранения пробы. Анализ атмосферного воздуха проводился непосредственно в полевых условиях с помощью газоанализатора ОКА-МТ при положении

контактного элемента прибора на высоте 1,5...2,0 м от поверхности. Опробование растительности проводилось в летний период 2008 г. в тех же пунктах, что и опробование почв, преимущественно по ветвям подроста сосны (в её отсутствие – лиственницы). Пробы подвергались сжиганию для получения массы после сжигания не менее 100 г материала. При отборе проб использовались садовые ножницы и ножи. Отобранные пробы упаковывали в матерчатые мешочки.

Геохимическое опробование сопровождалось ландшафтно-геохимическими, геоботаническими, почвенными, гидрометрическими и метеорологическими наблюдениями, включавшими краткую характеристику элементарного ландшафта, описание местоположения точки наблюдения с учетом рельефа, границ смены растительных ассоциаций и горных пород, гарей, типов почв, измерение температуры воздуха, расхода воды и т. д. Пробы для определения микроэлементов, органических и биогенных веществ консервировались с учётом метода анализа. Транспортирование проб в лаборатории для проведения анализа производилось в оптимально короткие сроки после отбора проб. При этом применяли специальные ёмкости, обеспечивающие сохранность и чистоту проб.

Перечень определяемых показателей качества природных вод, донных отложений почв и растительности для лабораторных работ определен с учётом опыта экологических исследований в Сибири и возможного изменения окружающей среды под влиянием хозяйственной деятельностью. В состав перечня вошли общие физико-химические показатели, макрокомпоненты и рН, определяющие химический состав воды, в целом, наиболее распространенные загрязняющие вещества – соединения азота, фосфора, железа, органические вещества по содержанию нефтепродуктов, фенолов, величине БПК и ХПК, а также специфические вещества, сведения о содержаниях которых необходимы для оценки воздействия на состояние водных объектов, почв и растительности. Лабораторные работы выполнены в аккредитованной гидрохимической лаборатории Томского политехнического университета в учебно-производственном центре (УНПЦ) «Вода», а также ООО «Плазма».

Камеральные работы включали систематизацию и оценку качества полученных аналитических данных, ландшафтное районирование исследуемых территорий, оценку фоновых геохимических характеристик компонентов выделенных ландшафтов; выявление отклонений от фоновых геохимических характеристик, интегральную оценку экологического состояния окружающей среды. При анализе состояния окружающей среды использовались полученные А.А. Скугаревым результаты дешифрирования материалов многозональной съемки Landsat 7 с разрешением 30 м и панхроматической съемки ALOS PRISM с разрешением 2,5 м. Ландшафтное районирование выполнено

О.Г. Савичевым, О.Г. Савичевой, В.А. Базановым и А.А. Скугаревым на основе методики, изложенной в [1] и предполагающей последовательное выделение таксономических единиц ландшафтов – типов, классов, родов, видов. В соответствии с указанной методикой, выделение типов ландшафтов проводилось по наиболее яркому их индикатору – растительности (жизненные формы, видовой состав, закономерности пространственного распределения), классов – по генетическим типам почв, родов – с учётом групп генетических типов рельефа, выделяющихся по общей направленности развития экзогенных процессов (по преобладанию денудации или аккумуляции), видов геохимических ландшафтов – парагенетическим рядам или группам рядов четвертичных отложений.

Оценка эколого-геохимического состояния компонентов окружающей среды выполнена путём расчёта суммарного показателя загрязнения Z_c :

$$Z_c = \Sigma(C/C_\phi) - (N_3 - 1),$$

где C и C_ϕ – фактическое и фоновое содержание вещества; N_3 – количество веществ с отношением $C/C_\phi \geq 2$ [1]. Фоновое содержание определяется с учётом закона распределения вероятностей по результатам определения статистик M_3 , H и Δ :

$$M_3 = \Sigma(C - C_A)^3 / N,$$

$$H = 1,96 \cdot \sigma^3 \cdot (6/N)^{0,5},$$

$$\Delta = (C_A - C_{\min}) / \sigma,$$

где N – объём выборки; C_A и $C_{\min}$ – среднее арифметическое и минимальное значения концентраций вещества; σ – среднее квадратическое отклонение концентраций вещества [2]. В случае, когда распределение вероятностей концентраций вещества подчиняется закону Гаусса (в первом приближении при $-H \leq M_3 \leq H$ и $\Delta \geq 3,9$), согласно [3], в качестве фонового значения принимается среднее арифметическое, в противном случае (в предположении логнормального распределения) – среднее геометрическое. Непосредственно для рассматриваемой территории сделан вывод о преимущественно логнормальном распределении вероятностей обнаружения веществ в почвах, золе растений, донных отложений, водах, атмосферном воздухе. Соответственно геохимический фон рассчитывался как среднее геометрическое.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемая территория площадью около 2000 км² расположена в Богучанском и Кежемском районах Красноярского края, в правобережной части водосбора р. Ангара, в пределах физико-географической страны Средняя Сибирь. В геологическом строении участвуют отложения палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов. Палеозойские отложения прорваны основными породами формации сибирских траппов. Наиболее древними породами района исследований являются карбонатные и терригенно-карбонатные отложе-

ния кембрийской системы. Палеозойские отложения с размывом перекрываются рыхлыми образованиями палеогеновой и неогеновой систем. Почти повсеместно (особенно в долинах средних рек) распространены четвертичные образования.

В гидрогеологическом отношении по условиям залегания и стратиграфической приуроченности выделяются следующие водоносные комплексы: 1) грунтовые воды четвертичных отложений; 2) пластовые и трещинно-пластовые воды отложений каменноугольной и пермской систем; 3) пластово-трещинные и карстово-трещинные воды отложений кембрия; 4) трещинные воды интрузий долеритов; 5) поровые и порово-трещинные воды юрских отложений; 6) пластово-трещинные и карстово-трещинные воды отложений ордовика. Формирование химического состава подземных вод обусловлено сложными гидрогеологическими условиями, главным образом, тектоническими, литологофациальными и мерзотно-геотермическими, наличием траппового магматизма, интенсивностью разрывной тектоники. В пределах рассматриваемой территории наблюдается гидрохимическая зональность, проявляющаяся в распространении пресных и солоноватых вод в верхней части разреза и соленых и рассольных — в нижней. Такой характер гидрохимической зональности обусловлен широким развитием галогенных отложений в строении чехла платформы. Пресные и солоноватые воды распространены до глубин 300...600 м. В верхних частях разреза среди промытых терригенных и карбонатных пород формируются пресные воды гидрокарбонатного кальциевого или магниевого состава; в угленосных толщах — гидрокарбонатного натриевого. Воды сульфатного кальциевого состава с минерализацией до 1...3 г/л приурочены к породам, содержащим пласты гипса и ангидрита. Воды хлоридного натриевого состава с минерализацией от 1...2 до 100...200 г/л и более приурочены к нижней части разреза и связаны с пластовыми скоплениями высококонцентрированных седиментационных рассолов. Питание подземных вод зоны свободного водообмена осуществляется на водораздельных пространствах за счет интенсивной инфильтрации атмосферных осадков. В зоне распространения многолетней мерзлоты сквозные талики являются областями питания и разгрузки подмерзлотных вод [4, 5].

По результатам выполненного в 2008–2009 гг. исследования солёные подземные воды не отмечены. Однако в нижнем течении р. Ильбокич зафиксировано изменения геохимического типа речных вод с гидрокарбонатного кальциевого на хлоридный натриевый, что (в отсутствие источников загрязнения) указывает на приток минерализованных хлоридных натриевых подземных вод кембрийских водоносных отложений. Выявленные выходы подземных вод приурочены к долинам водотоков и характеризуются, согласно классификации О.А. Алекина, как пресные с малой и средней

минерализацией; по химическому составу — гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные магниевые (табл. 1). По характеру соотношения главных ионов можно предположить высокую вероятность формирования подземных вод при условии их взаимодействия с изверженными породами с повышенным содержанием натрия и калия, с осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород, а также с более минерализованными подземными водами, разгружающимися в поймах средних рек. Реакция среды изменяется от нейтральной до слабощелочной. Превышения хозяйственно-питьевых нормативов отмечены преимущественно по содержанию железа и марганца. Кроме того, в ряде источников выявлены повышенные концентрации алюминия и легкоокисляемых органических веществ по величине БПК₅. В целом, условие $\Sigma(C/ПДК) \leq 1$, установленное в нормативных документах Роспотребнадзора, не выполняется для общесанитарного, органолептического и санитарно-токсикологического лимитирующего признака вредности, что определяется влиянием природных факторов.

Реки района исследований, в соответствии с классификацией П.С. Кузина [6], соответствуют Средне- и Нижнетунгусскому гидрологическому району и характеризуются наличием весеннего половодья с максимумами последнего в середине мая, летних и осенних паводков, продолжительной межени (средней по водности) и устойчивого ледостава средней продолжительности. Питание рек — снеговое и дождевое. В ряде случаев отмечается пересыхание и перемерзание малых водотоков, особенно в пределах распространения неогеновых отложений. Анализ данных Росгидромета показал, что незагрязненные речные воды малых и средних рек обычно являются пресными с малой и средней минерализацией (по классификации О.А. Алекина), гидрокарбонатными кальциевыми, реже гидрокарбонатными натриевыми (обычно в меженный период), по величине pH — в целом нейтральные или слабощелочные, по жесткости — умеренно жесткие. В период проведения исследований (2008–2009 гг.) поверхностные воды также были охарактеризованы как пресные, гидрокарбонатные кальциевые, гидрокарбонатные натриевые и хлоридные натриевые.

Современное эколого-геохимическое состояние поверхностных вод характеризуется превышением установленных нормативов по содержанию железа, фосфатов и органических веществ по величине ХПК, что, преимущественно, связано с поступлением в речную сеть болотных вод из речных долин, частиц почвогрунтов и продуктов трансформации органического материала природного происхождения (растительные и животные остатки) с водосборных территорий. Органическое вещество минерализуется, в результате чего в воде образуются ионы аммония, накапливающиеся затем на участках с относительно застойным водным режимом. Кроме

Таблица 1. Фоновые значения физико-химических и гидрохимических показателей поверхностных, подземных и снеговых вод в Северном Приангарье в 2008–2009 гг.

Показатель	ПДК _{рх}	Речные воды				Болотные воды	Подземные воды	Снеговые воды
		р. Чадобец	водосбор р. Ильбокич	реки Немба Инганба, Бешамей	в целом			
pH	6,5...8,5	7,66	7,60	7,44	7,56	6,38	7,44	5,91
мг/дм ³								
O ₂	6	6,88	7,59	4,47	6,31	1,24	–	–
Взвешенные вещества	Фон+ 0,25	7,56	12,08	24,41	13,78	53,42	46,10	5,57
Мутность	1,50	1,04	1,43	3,29	1,75	56,70	7,47	2,55
Сумма главных ионов	(ПДК _{хл} 1000)	344,7	372,4	397,3	374,5	161,2	294,8	17,0
Ca ²⁺	180	31,2	46,5	54,4	45,3	24,0	38,2	1,9
Mg ²⁺	40	12,8	17,6	19,2	17,0	9,6	19,1	0,7
Na ⁺	120	49,2	22,3	16,3	23,4	1,5	7,2	0,2
K ⁺	50	1,0	1,3	1,7	1,4	0,9	0,6	0,1
HCO ₃ ⁻	–	180,9	214,5	290,6	228,5	122,0	212,0	9,4
SO ₄ ²⁻	100	16,9	11,0	5,7	9,7	1,0	8,6	1,9
Cl ⁻	300	46,3	3,7	1,2	4,1	2,2	0,9	0,8
Fe _{общ}	0,1	0,176	0,406	0,654	0,403	5,820	1,804	0,139
NH ₄ ⁺	0,5	0,061	0,180	0,284	0,170	1,100	0,100	0,034
NO ₂ ⁻	0,08	0,008	0,004	0,015	0,007	0,016	0,009	0,017
NO ₃ ⁻	40	1,254	0,560	0,259	0,512	0,250	0,250	0,806
P-PO ₄ ³⁻	0,05; 0,15; 0,20*	0,075	0,098	0,057	0,079	0,250	0,060	0,013
Si	(ПДК _{хл} 10)	8,44	6,90	4,50	6,27	8,51	6,63	0,14
БПК ₅	2	0,93	0,53	0,51	0,58	0,48	0,41	0,39
ХПК	(ПДК _{хл} 15)	5,04	10,48	7,73	8,31	43,00	4,74	2,00
Нефтепродукты	0,05	0,027	0,048	0,021	0,033	0,019	0,027	0,068
Фенолы	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,011	0,003	0,001
F ⁻	Фон+ 0,05	0,18	0,24	0,15	0,20	0,05	0,16	–
Li	0,01	0,0056	0,0200	0,0113	0,0132	0,0020	0,0102	0,0001
Ba	0,74	0,0090	0,0275	0,0450	0,0260	0,0560	0,0171	0,0066
Al	0,04	0,0235	0,0184	0,0687	0,0291	0,0650	0,1323	0,0932
Pb	0,006	0,0005	0,0007	0,0006	0,0006	0,0016	0,0011	0,0013
Cu	0,001	0,0017	0,0018	0,0024	0,0019	0,0054	0,0032	0,0023
Zn	0,01	0,0185	0,0483	0,0211	0,0311	0,0240	0,0412	0,0340
Cd	0,005	0,00001	–	0,00003	–	0,00011	0,00005	0,00004
As	0,05	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0011	0,0004	0,0001
Mn	0,01	0,0486	0,0380	0,3830	0,0819	4,0200	0,1608	0,0284
Co	0,01	0,00020	0,00026	0,00114	0,00039	0,00460	0,00062	0,00021
Cr	0,02	0,00339	0,00373	0,00386	0,00371	0,00260	0,00344	0,00087
Ni	0,01	0,00239	0,00329	0,00427	0,00336	0,00540	0,00176	0,00108
V	0,001	0,00404	0,00114	0,00027	0,00092	0,00060	0,00014	0,00100
Hg	10 ⁻⁵	1,3·10 ⁻⁵	1,8·10 ⁻⁵	5,7·10 ⁻⁵	2,4·10 ⁻⁵	3,0·10 ⁻⁵	1,7·10 ⁻⁵	2,3·10 ⁻⁵
Se	–	0,00114	0,00043	0,00022	0,00042	0,00032	0,00034	0,00012
Количество проб	–	3	8	5	16	1	5	13

того, фульвокислоты, содержащиеся в болотных водах, образуют с железом соединения, которые могут накапливаться в природных водах во взвешенных, коллоидных и водорастворимых формах в значительных количествах. Аналогичный механизм накопления в поверхностных водах характерен и для ряда других металлов. В то же время, большинство металлов образует малорастворимые соединения с гуминовыми кислотами, что, напротив, приводит к уменьшению содержаний растворимых форм. Под влиянием указанных противоположно

направленных процессов, а также в результате выноса в речную сеть частиц почвогрунтов с повышенным содержанием (например, в случае Zn, Mn, Fe, V, As), общая картина распределения этих элементов в поверхностных (а также и подземных) водах может принимать весьма случайный характер. В целом, установленные показатели качества речных вод соответствуют мезо- и полисапробным водам (главным образом, из-за относительно повышенного содержания соединений фосфора и азота, реже – органических веществ).

Одновременно с гидрохимическими исследованиями были проведены исследования донных отложений в тех же створах, что и отбор речных вод. Полученные данные свидетельствуют о примерной сопоставимости уровней содержания химических элементов в донных отложениях и почвах района исследований. Наиболее существенное отклонение в сторону более высокого содержания в донных отложениях отмечено для железа (табл. 2). Степень соответствия содержаний в воде и донных отложениях в целом незначительная — из большого перечня веществ (нефтепродукты, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Mn, Co, Cr, Ni, V, Fe) статистически значимые связи выявлены только для Co ($-0,63 \pm 0,19$). Возможно, это связано с миграцией веществ преимущественно в растворенной и коллоидной формах и высокой интенсивностью водообмена в речной системе района исследований. Распределение изу-

ченных веществ в донных отложениях водотоков относительно равномерное.

Следует отметить, что районный «фон», полученный как среднее геометрическое из 10 проб, примерно соответствует среднему содержанию во взвеси рек мира (по [7]) для P, Cr, Ni, Cu, Pb, более чем в 1,5 раза превышает — для V, Mn и существенно меньше — для Zn и Cd. По сравнению со средними значениями, установленными для рек Томской области [8], «фоновые» концентрации на рассматриваемой территории значительно (в 1,5 раза и более) больше для V, Co, Ni, Cu, Zn, меньше для нефтепродуктов, P, Cd, Pb и примерно равны для Cr.

В работе [8] предложена классификация донных отложений по содержанию нефтепродуктов: 1) до 65 мг/кг — «чистые»; 2) от 65 до 260 мг/кг —

Таблица 2. Фоновые значения физико-химических и гидрохимических показателей донных отложений, почв и золы растений в Северном Приангарье в 2008–2009 гг.

Показатель	ПДК	Донные отложения	Почвы					Зола растений
			позолы и дерново-подзолистые	мерзлотно-таёжные	торфяные	аллювиальные	в целом	
pH (в.в)	—	—	5,66	6,44	5,01	6,20	5,85	—
Гидролитическая кислотность, мг-экв. H ⁺ /100 г	—	—	9,46	6,04	6,31	5,71	6,49	—
Ca, мг-экв/100 г	—	—	4,4	36,6	129,1	62,8	40,3	—
Mg, мг-экв/100 г	—	—	0,7	2,9	51,4	5,3	5,4	—
C _{орг} , %	—	—	2,91	3,35	25,46	4,19	5,61	—
мг/кг	—	—						
Ca (в.в)	—	—	28,3	54,3	—	56,5	55,2	4941,8
Mg (в.в)	—	—	84,9	200,8	—	184,8	158,8	1137,9
Na (в.в)	—	—	3,4	4,8	9,1	13,2	7,2	19,2
K (в.в)	—	—	12,3	14,2	4,7	10,1	9,7	5242,0
HCO ₃ ⁻ (в.в)	—	—	86,3	273,4	—	268,4	233,5	—
SO ₄ ²⁻ (в.в)	160	—	21,5	7,7	17,6	13,0	12,8	—
Cl ⁻ (в.в)	—	—	25,6	16,9	—	42,4	31,6	—
Fe	—	58698,2	8781,0	45906,4	14021,4	37996,8	25540,3	148,0
NO ₂ ⁻ (в.в)	—	—	0,003	0,004	0,007	0,003	0,004	—
NO ₃ ⁻ (в.в)	130	—	1,000	1,000	3,812	2,924	1,894	—
P	56	617,4	272,1	581,8	862,1	726,0	606,7	1053,9
Si	—	—	—	—	—	—	—	730,8
Нефтепродукты	1000	—	1,11	1,46	—	1,58	1,41	—
Li	—	—	0,034	0,041	0,020	0,051	0,036	0,164
Ba	—	—	—	—	—	—	—	14,763
Al	—	—	—	—	—	—	—	166,8
Pb	32	9,060	13,416	13,606	6,411	17,669	12,368	—
Cu	3	59,317	30,708	57,251	21,930	42,526	38,042	2,808
Zn	23	78,258	30,984	101,159	39,393	78,868	62,830	42,971
Cd	—	0,168	0,134	0,237	0,286	0,293	0,242	0,035
As	2	6,979	7,250	1,080	1,669	1,419	1,741	0,002
Mn	1500	1695,72	310,87	1536,40	894,95	1102,33	957,67	464,03
Co	5	31,124	4,733	24,468	7,884	16,172	12,882	0,255
Cr	6	182,387	25,904	90,949	29,826	87,355	57,247	2,136
Ni	4	64,823	15,944	49,891	24,372	45,455	34,479	1,672
V	150	277,878	6,819	92,911	59,314	120,677	60,746	0,870
Se	—	0,500	0,500	0,674	0,673	0,854	0,692	0,022
Количество проб	—	10	3	4	3	4	14	12

«чистые» для малых рек с заболоченными водосборами и «умеренно загрязненные» в остальных случаях; 3) от 260 до 550 мг/кг — «загрязненные»; 4) свыше 550 мг/кг — «грязные». Кроме того, при оценке антропогенного влияния на водные объекты южной и средней тайги в качестве «фоновых» содержаний нефтепродуктов в донных отложениях можно использовать значение 260 мг/кг для малых рек с заболоченными водосборами и 65 мкг/кг — для прочих рек. Концентрации, превышающие это значение, с вероятностью более 90 % свидетельствуют об антропогенном загрязнении водных объектов. С учетом указанной выше классификации донные отложения изученных рек на исследуемой территории можно отнести к категории «чистых». В целом, согласно рекомендациям [7], значение суммарного показателя загрязнения Z_c до 10 (включительно) отмечается для донных отложений всех изученных рек, что соответствует слабому уровню загрязненности (шкала оценки начинается с данной категории).

Согласно почвенно-географическому районированию [9], рассматриваемая территория относится к Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной области, Среднетаежной подзоне мерзлотно-таежных и палевых почв, Среднесибирской провинции кислых мерзлотно-таежных и мерзлотно-болотных почв и характеризуется распространением подзолистых, дерново-подзолистых, мерзлотно-таежных, торфяных болотных верховых, торфяных болотных низинных, аллювиальных дерновых кислых, аллювиальных луговых кислых. В процессе выполненных исследований выявлено, что реакция среды элювиального горизонта подзолистых почв сильноокислая (4,9), гидролитическая кислотность составляет 6,73 мг-экв/100 г почвы. Содержание гумуса 1,75 %. Дерново-подзолистые почвы в гумусово-аккумулятивном горизонте имеют слабокислую реакцию среды. Содержание гумуса достигает 4,83 %. Содержание обменных кальция и магния значительно увеличивается по сравнению с элювиальным горизонтом подзолистых почв и составляет соответственно 8,68 и 2,14 мг-экв/100 г. Обеспеченность верхнего горизонта дерново-подзолистых почв обменным калием низкая. В органо-аккумулятивных горизонтах мерзлотно-таежных почв реакция среды изменяется от слабо кислой (6,18) до нейтральной (6,91). Содержание обменных форм кальция и магния значительно варьирует (20,16...64,11 мг-экв/100 г), что, вероятно, связано с составом почвообразующих пород. Содержание гумуса в мерзлотно-таежных почвах невелико и составляет 1,54...7,44 %. Содержание подвижных форм калия, нитратного азота низкое. Торфяные верховые почвы, формирующиеся в условиях бедного атмосферного питания, характеризуются резко кислой реакцией среды (3,5), гидролитическая кислотность составляет 103,01 мг-экв/100 г. Формирование торфяных низинных почв происходит в условиях богатого минерального питания, поэтому

реакция среды составляет 5,8...6,2. Аллювиальные почвы характеризуются реакцией среды от слабощелочной до слабокислой. Количество гумуса в верхних горизонтах изменяется от 2,28 до 7,56 %. Вглубь по профилю в аллювиальной луговой кислой почве содержание гумуса резко снижается. Содержание обменных оснований и элементов питания растений низкое.

В целом, исследуемые почвы содержат незначительное содержание нефтепродуктов, подвижных соединений хлора, что свидетельствует об отсутствии техногенного загрязнения участка. В то же время они во многих случаях обогащены Mn, Fe, V, Zn, Cu, Cr, As. Это позволяет, во-первых, предположить, что поступление перечисленных и ряда других элементов в водные объекты во время таяния снегового покрова и дождевых паводков может быть важным фактором формирования в водах концентраций, превышающих ПДК. Во-вторых, очевидно различие в уровнях содержания веществ в долинных комплексах и водоразделах рек, что, в свою очередь, определяет целесообразность выделения соответствующих геохимических ландшафтов (то есть долинных комплексов и водораздельных пространств). С учётом требований Роспотребнадзора степень загрязнения почв района исследований формально оценивается как «допустимая», «умеренно опасная» и «опасная». Повышенные концентрации ряда веществ, включая As, обусловлены сочетанием условий — значительным их содержанием в коренных породах, выносом веществ с прилегающих территорий и накоплением в участках с понижениями в рельефе, наличием геохимических барьеров (например, образование малорастворимых органоминеральных соединений).

В геоботаническом отношении рассматриваемая территория расположена в бореально-лесной Енисейской области, в Ангаро-Енисейском (Нижне-Ангарском) районе, в приангарской провинции, в приангарском сосново-боровом округе, в подзоне южной тайги и характеризуется распространением сосновых, мелколиственных и хвойно-мелколиственных лесов. Результаты определения химического состава золы растений приведены в табл. 2. Их анализ позволяет сделать вывод об определенном отклонении от биогеохимического районного «фона» в пределах распространения интрузивных и каменноугольных образований. В ряде случаев повышенные концентрации в золе хвой отмечаются в тех же местах, что и повышенные концентрации этих же элементов почвенном покрове, но в целом корреляционные связи достаточно слабые. Так, статистически значимые коэффициенты корреляции установлены только для содержаний Se ($0,47 \pm 0,22$). Возможно, это связано с тем, что, во-первых, вследствие маломощного почвенного слоя водно-минеральное питание древесной растительности в значительной степени происходит на контакте с коренными породами, минуя собственно почвы. Во-вторых, ряд элементов из почвы мо-

жет вымываться более интенсивно по сравнению с растительным покровом, в котором происходит аккумуляция химических элементов в течение ряда лет.

Газовый состав приземных слоёв атмосферного воздуха исследовался только в зимний период одновременно с отбором проб снега. По полученным данным, содержание диоксида серы повсеместно было меньше предела обнаружения (1 мг/м^3). Уровень содержания аммиака в среднем составляет $0,6 \text{ мг/м}^3$, диоксида углерода — $0,007 \%$, метана — $0,009 \%$ (объемных), причём в долинах средние содержания CO_2 и, особенно, CH_4 заметно (в 1,5...2,5 раза) выше, чем на водоразделах. Это свидетельствует о большей биогеохимической активности речных долин, значительная часть которых заболочена.

На основе полученных данных была выполнена общая оценка эколого-геохимического состояния основных ландшафтов района исследований, в составе которых, с учётом малой мощности почвенного покрова, широкого распространения на водораздельных пространствах мерзлотно-таёжных почв, весьма высокой мозаичности почвенного покрова и геологического строения и относительно однородного состава древесной растительности, выделено два основных ландшафта: 1) водораздельные пространства; 2) долины рек. Их геохимическая характеристика получена по средним геометрическим концентрациям в почвах, золе растений, атмосферном воздухе и снеговом покрове. Геохимические показатели донных отложений и природных вод для получения обобщенной геохимической оценки ландшафтов не использовались, поскольку в условиях расчлененного рельефа они отражают особенности руслового процесса и перераспределения наносов по длине водотоков в пределах с различным геологическим строением. В целом, геохимическая дифференциация ландшафтов

выражена достаточно слабо и прослеживается в наибольшей степени по показателю ПЭО ($\text{ПЭО} = \Sigma(C_{\text{л}}/C_{\text{м}}) - (N_{\text{г}} - 1)$), рассчитанному по средним геометрическим концентрациям веществ в почвах ландшафтов $C_{\text{л}}$ и кларку $C_{\text{м}}$ (табл. 3).

Таблица 3. Геохимическое состояние природных и техногенных ландшафтов на исследуемой территории в Северном Приангарье (согласно [1])

Таксономическая категория	Тип	Класс	ПЭО	Геохимический тип ассоциации химических элементов
Долины рек	таёжные лесные: еловые, лиственные; смешанные лесные: хвойно-мелколиственные; мелколиственные: смешанные	болотные, пойменные аллювиальные	6,5	Лито-халькофильный – халькофильный (67 %), литофильный (33 %)
Водораздельные пространства	таёжные лесные: сосновые, хвойные смешанные; смешанные лесные: хвойно-мелколиственные; мелколиственные: берёзовые, смешанные	мерзлотно-таёжные, типично подзолистые, дерново-подзолистые	9,0	Сидеро-лито-существенно халькофильный – халькофильный (67 %), литофильный (20 %), сидерофильный (13 %)

Интегральная оценка экологического состояния исследуемой территории выполнена по величине комплексного показателя загрязнённости в соответствии с [1] по следующей шкале: 1) «удовлетворительное» состояние – отсутствие или минимальный уровень загрязнения всех компонентов окружающей среды; 2) «напряжённое» состояние – слабый уровень загрязнения хотя бы по одному компоненту при минимальном по остальным компонентам; 3) «критическое» состояние – средний

Таблица 4. Эколого-геохимическое состояние компонентов окружающей среды рассматриваемой территории в 2008–2009 гг.

№	Объект исследований и его наименование	$Z_{\text{пдк}}$	Ассоциация веществ с $C/\text{ПДК} > 1$	Z_c	Ассоциация веществ с $C/C_{\text{ф}} \geq 2$	Суммарный уровень отклонения от ПДК и «фона»
1. Почвенный покров						
1.1	Долины рек (Л1)	41,5	$\text{P}_{14,9}, \text{Cu}_{10,1}, \text{Cr}_{8,5}, \text{Ni}_{8,2}, \text{Zn}_{2,4}, \text{Co}_{2,3}$	3,9	$(\text{C}_{\text{орг}})_3, (\text{NO}_2^-)_2$	Минимальный
1.2	Водоразделы рек (Л2)	42,8	$\text{Cu}_{15,5}, \text{Cr}_{10}, \text{Ni}_{8,5}, \text{P}_8, \text{Zn}_3, \text{Co}_{2,8}, \text{As}_{1,02}$	–	–	Минимальный
2. Растительный покров (оценка по величине Z_c)						
2.1	Долины рек (Л1)	–	–	5,1	$\text{Se}_3, (\text{Li}, \text{Si})_2$	Минимальный
2.2	Водоразделы рек (Л2)	–	–	–	–	Минимальный
3. Снеговые воды						
3.1	Долины рек (Л1)	–	–	–	–	Минимальный
3.2	Водоразделы рек (Л2)	–	–	2,2	Se_2	Минимальный
4. Атмосферный воздух						
4.1	Долины рек (Л1)	3,1	$(\text{NH}_3)_{3,1}$	–	–	Минимальный
4.2	Водоразделы рек (Л2)	2,5	$(\text{NH}_3)_{2,5}$	–	–	Минимальный
5. Суммарная оценка экологического состояния ландшафтов согласно [1]						
5.1	Долины рек (Л1)	Удовлетворительное состояние				
5.2	Водоразделы рек (Л2)	Удовлетворительное состояние				

уровень загрязнения хотя бы одного компонента при слабом или минимальном по остальным компонентам; 4) «чрезвычайное» состояние — сильный или максимальный уровень загрязнения хотя бы по одному компоненту при минимальном, слабом или среднем по остальным компонентам; 5) «катастрофическое» состояние (экологическое бедствие) — максимальный уровень загрязнения по трем — четырём компонентам. С учётом указанных градаций эколого-геохимическое состояние речных долин и водораздельных пространств в целом оценивается как удовлетворительное как по степени отклонения от геохимического фона, так и по степени нарушения установленных нормативных значений (табл. 4).

Заключение

В Северном Приангарье в первом приближении выделено два основных естественных ландшафта — водораздельных пространств и речных долин. Основные типы природопользования в рассматриваемом районе по состоянию на 2008–2009 гг. — лесохозяйственный, в средне- и долгосрочной перспективе — лесохозяйственный, геологоразведочный, горнодобывающий и гидроэнергетический. Для

рассматриваемой территории характерно наличие повышенных концентраций химических элементов на участках, связанных с проявлениями полезных ископаемых (каменный уголь, магнетитовые руды, редкие элементы).

На отдельных участках водотоков отмечено изменение геохимического типа вод (с гидрокарбонатных кальциевых на хлоридные натриевые) вследствие притока минерализованных хлоридных натриевых подземных вод кембрийских отложений. С учётом наличия природных геохимических аномалий термин «загрязнение» применительно к ситуации на рассматриваемой территории не корректен и обозначает преимущественно степень природного отклонения от ПДК. Уровень этого отклонения меняется в весьма широком диапазоне, в том числе для: 1) почв — до 34; 2) донных отложений (ПДК для почв) — до 67; 3) речных вод — до 75; 4) болотных вод — до 402; 5) подземных вод — до 61; 6) снеговых вод (ПДК для поверхностных вод хозяйственно-питьевого назначения) — до 5,3; 7) атмосферного воздуха — до 5 (ПДК максимальные разовые). В целом, эколого-геохимическое состояние исследуемой территории оценивается как удовлетворительное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1: 200000. — М.: ИМГРЭ РАН, 2002. — 92 с.
2. Международное руководство по методам расчёта основных гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 248 с.
3. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. — М.: Недра, 1983. — 191 с.
4. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. — М.: Наука, 1966. — 332 с.
5. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2007 г.: информационный бюллетень. — Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2008. — Вып. 4. — 194 с.
6. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 200 с.
7. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). — М.: ИМГРЭ, 2002. — 52 с.
8. Савичев О.Г., Лыготин В.А. Пространственные изменения химического состава донных отложений рек Томской области // География и природные ресурсы. — 2008. — № 3. — С. 46–51.
9. Почвы СССР. — М.: Мысль, 1979. — 380 с.

Поступила 20.11.2009 г.