

*Чебыкин Е.П., кандидат химических наук, старший научный сотрудник,  
Минаев А.В., и.о. зав. отделом инновационной деятельности,  
Дамбинов Ю.А., аспирант,  
Хахураев О.А., аспирант,  
Сутурин А.Н., кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией,  
Лимнологический институт СО РАН*

*Работа поддержана ФАНО №0345-2016-0010 «Влияние изменяющихся природных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы на каменистой литорали Байкала»*

## **ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ СЕЛЕНГИНСКОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНО-КАРТОННОГО КОМБИНАТА НА ОКРУЖАЮЩЮЮ СРЕДУ**

**Аннотация:** в результате комплексных ландшафтно-геохимических исследований выявлена зона загрязнённых подземных вод на территории, прилегающей к ЗШШО СЦКК. Запроектирована сеть перехватывающих скважин, которая позволит решить проблему загрязнения подземных горизонтов и предотвратить поступление хлоридно-сульфатных вод в р. Селенгу, а затем в оз. Байкал.

**Ключевые слова:** Селенгинский ЦКК, р. Селенга, оз. Байкал, загрязнение подземных вод, ландшафтно-геохимические исследования

### **ВВЕДЕНИЕ.**

Селенгинский ЦКК до 1990 г. считался одним из главных загрязнителей оз. Байкал. Для прекращения сброса сточных вод в р. Селенгу и последующего загрязнения оз. Байкал на Селенгинском ЦКК в 1990 г. был внедрен замкнутый водооборот, важным звеном которого стал золо-шлакошламоотстойник (ЗШШО), куда вместе с зольной пульпой сбрасываются минерализованные стоки цехов комбината, содержащие  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}$  и др. элементы в концентрациях значительно выше, чем стоки из ТЭЦ. Загрязнение купола подземных вод под ЗШШО стало наблюдаться в 2003 г. – концентрации индикаторных элементов в контрольных скважинах значительно превышали фоновые содержания. Селенгинскому СЦКК предписывалось устранить протечки ЗШШО путём реконструкции старого или многомиллиардным строительством нового ЗШШО. Оба варианта не решали проблему протечек и ставили под угрозу существования СЦКК и моногорода (п. Селенгинск).

Целью данной работы являлась оценка степени влияния ЗШШО на окружающую среду и предложение мер по устранению его негативного влияния на р. Селенгу и, соответственно, на оз. Байкал.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В 2015-2016 гг. были проведены комплексные ландшафтно-геохимические исследования ЗШШО и прилегающей территории, включая обрамляющие ЗШШО реки (Вилушка, Чернушка), промплощадку СЦКК, скважины п. Брянск, р. Селенгу. Распространение купола загрязнённых вод под ЗШШО оценивалось методом электротомографии [1-3] с помощью автономной многоэлектродной

электроразведочной станции «СКАЛА 48». Предварительная обработка и инверсия данных вертикального электрического зондирования выполнялась с помощью программ SKILL TOOLS (ИНГГ СО РАН), ERT Lab и Surfer. На прилегающей к ЗШШО территории было получено 11 вертикальных геоэлектрических профилей (до 40 м в глубину), маркирующих потоки грунтовых вод и зоны обводнённого грунта по низким электрическим сопротивлениям. Геофизические данные заверялись бурением скважин и последующим анализом воды на содержание главных и следовых химических элементов (72 элемента) методом ИСП-МС на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500se в ЦКП «Ультрамикроанализ» в ЛИН СО РАН, согласно разработанным ранее методикам и подходам [4]. Методом ИСП-МС изучен также элементный состав всех речных проб и проб воды других скважин (контрольные вокруг ЗШШО, на промплощадке СЦКК, в п. Брянск).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Исследуемая территория расположена в междуречье притоков р. Селенги – рек Чернушка и Вилушка (рис. 1). Реки протекают вблизи шламоотстойника и золоотстойника, пересекают п. Селенгинск, промплощадку СЦКК и зону отселения – п. Брянск. На различных участках рек отобраны геохимические пробы воды, которые показали неизменность состава на всём их протяжении в пределах изучаемого отрезка (выше промышленных объектов – устье), что свидетельствует об отсутствии влияния накопителей промстоков и самой территории комбината. До р. Селенги хлоридно-сульфатное загрязнение подземных вод от ЗШШО

пока не дошло. Вода в скважинах и колодцах п. Брянск отражает иную геохимическую обстановку, обусловленную прежними газовыми выбросами

ми СЦКК, поэтому посёлок подлежал переселению

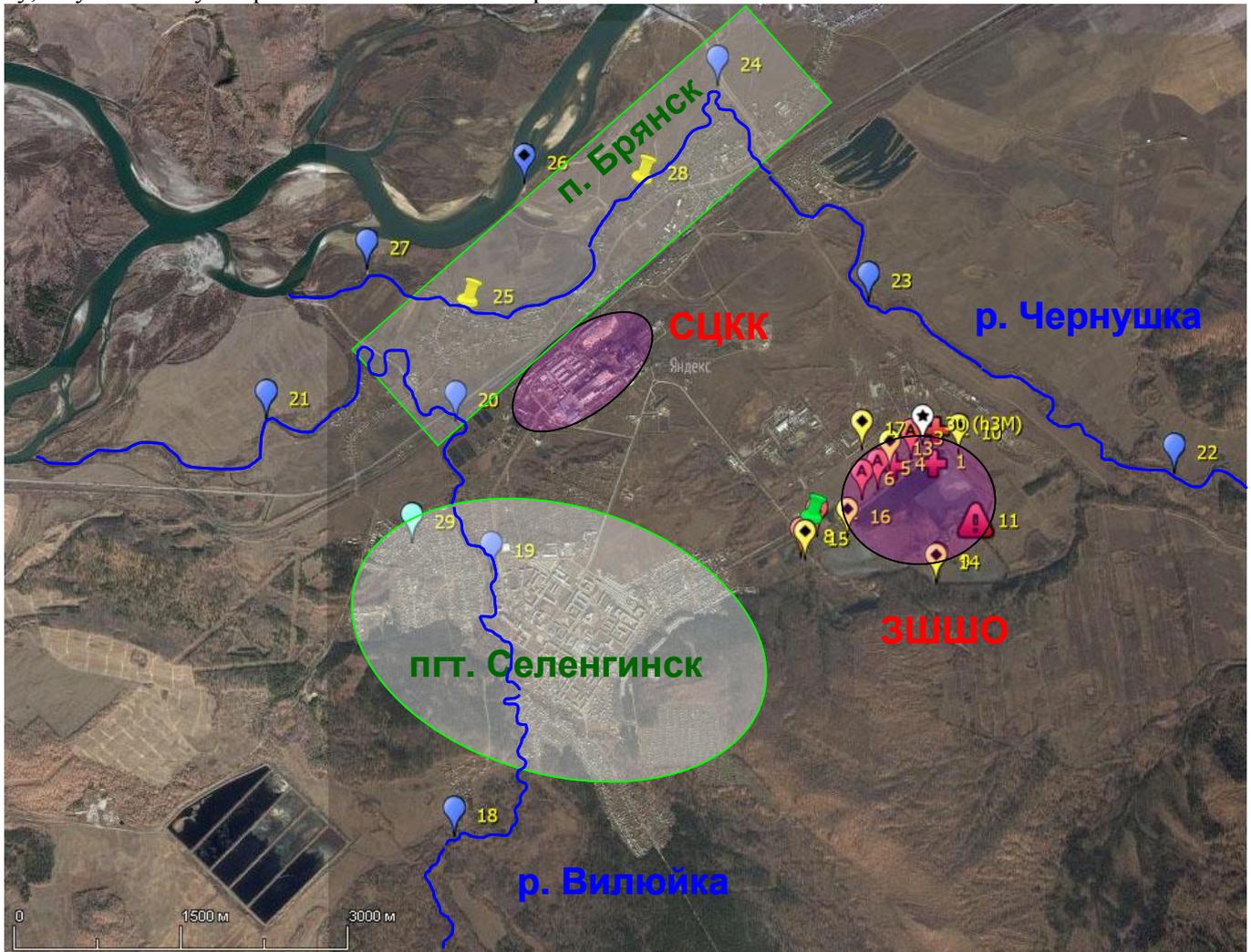


Рис. 1. Космоснимок с указанием мест отбора проб воды на территории золотостойника СЦКК и смежных территориях в мае 2016 г. Синими символами отмечены места отбора проб из рек, бирюзовым – из колонки городского водопровода (пгт. Селенгинск), жёлтыми – из скважин, красными (кресты и «!») – из золотостойника, розовыми – из водоёмов за дамбой золотостойника, зелёным – колодец за дамбой золотостойника, белым – из пробуренной скважины

Электротомография (рис. 2) и последующие заверочные работы показали наличие купола загрязнённых вод под ЗШШО, распространяющегося в

северо-восточном направлении на небольшое расстояние (до 1 км, рис. 2, 3).

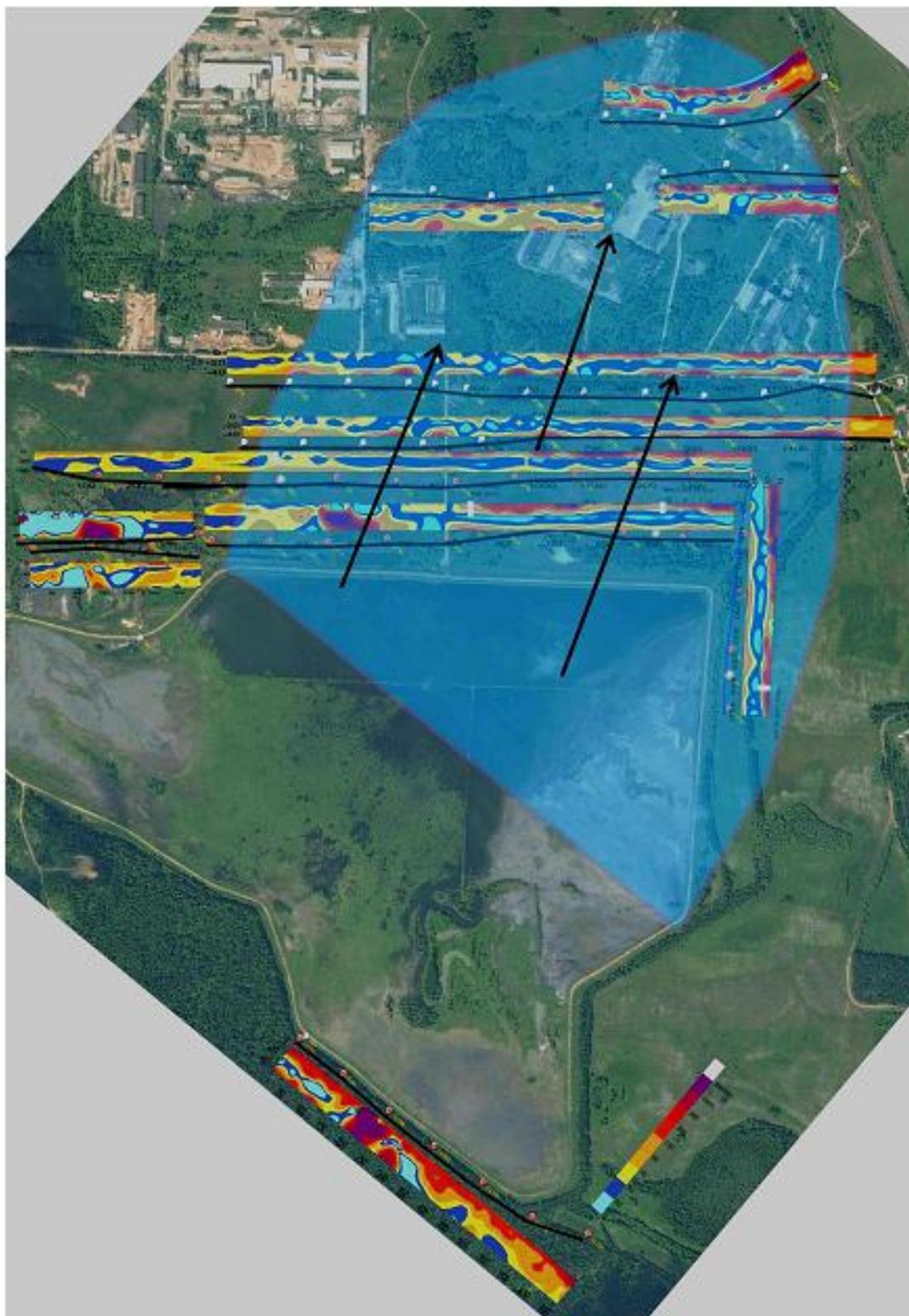


Рис. 2. Геоэлектрические разрезы в зоне купола загрязнённых вод от ЗШШО СЦКК, полученные методом электротомографии с помощью автономной многоэлектродной электроразведочной станции «СКАЛА 48». Голубые и синие поля на профилях вертикального электрического зондирования (ВЭЗ, глубина до 40 м) соответствуют низким удельным сопротивлениям (0-30-50 Ом\*м) грунтов и маркируют обводнения и протечки, красные-бордовые-фиолетовые соответствуют высоким удельным сопротивлениям (300-1000-300000 Ом\*м). Заливкой синего цвета показана площадь купола загрязнённых подземных вод

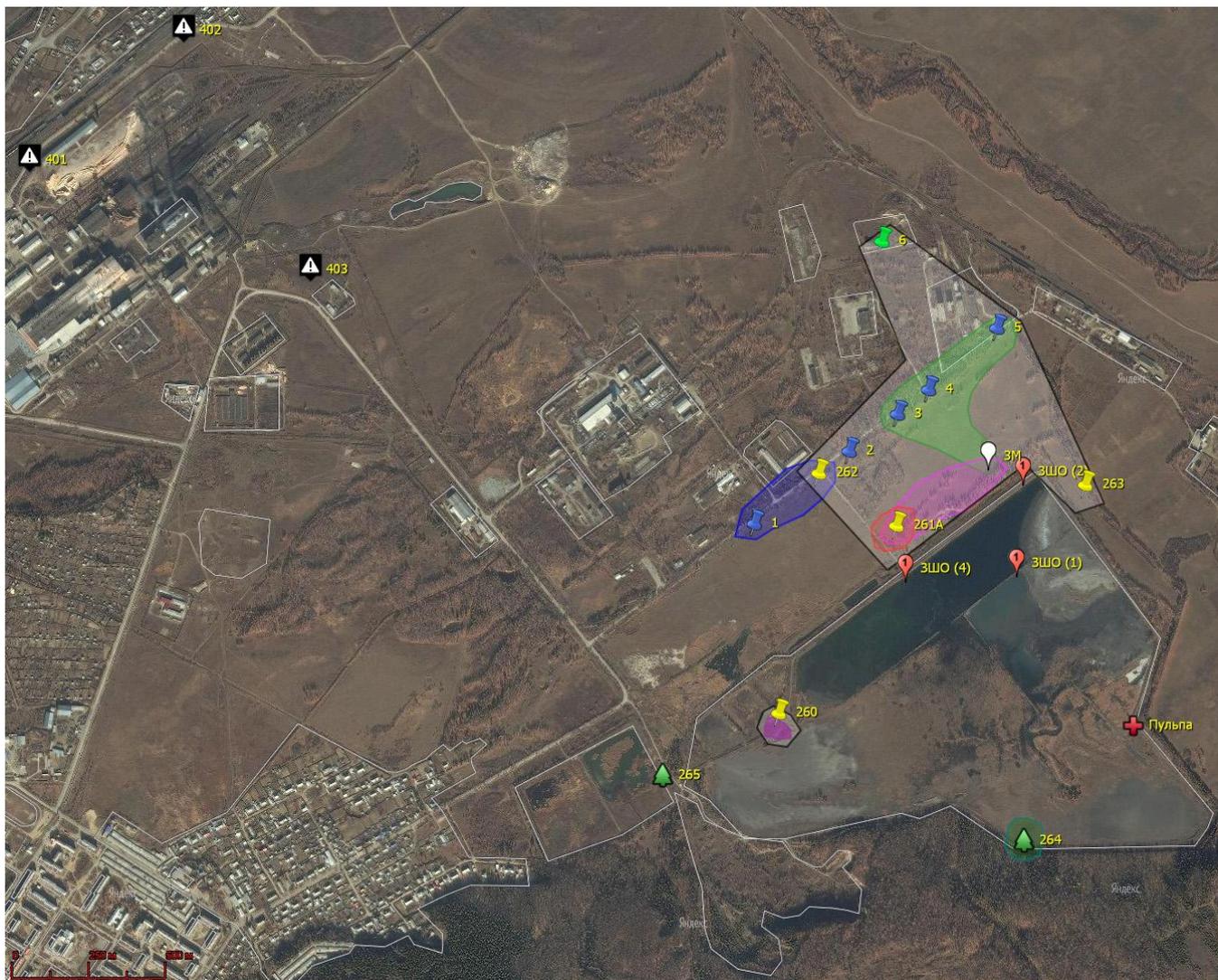


Рис. 3. Космоснимок с указанием мест отбора проб воды из скважин на территории ЗШШО (май и октябрь 2016 г.) и СЦКК (октябрь 2016 г.). Чёрными символами отмечены скважины на территории СЦКК.

Синими символами отмечены перехватывающие скважины, светло-зелёной «кнопкой» – контрольная скважина, жёлтыми – наблюдательные скважины (262 скважина будет использоваться как перехватывающая). Остальные символы – пробы, отобранные в мае 2016 г: белым – заверочная скважина (май), красным крестом – сброс пульпы, красными символами – вода из резервуара ЗШШО, зелёными «ёлочками» – наблюдательные скважины 264 (фоновая) и 265. Полупрозрачными заливками выделены зоны обогащения подземных вод элементами: розовая (скв. 261А и 3 М) – Li, Be, Al, K, As, Y, Nb, средние и тяжёлые редкоземельные элементы, W и Th; красная – скв. 261А дополнительно обогащена Ti, V, Cr, Ge, Ge, Zr, Hf; сиреневая (скв. 260 в дамбе) – йод; светло-зелёная (скв. 3,4,5 и 3М) – Mo; синяя (скв. 1 и 262) – Ba и Fe; тёмно-зелёная (264 фоновая) – углерод, фосфор; белая (скв. 260 и большинство скважин в северо-восточной части ЗШШО) – индикаторные элементы-загрязнители B, S, Na, Cl, Br, Re

На рис. 4. показан характер изменения минерализации, содержания главных и некоторых следовых химических элементов в воде в направлении пруды ЗШШО – наблюдательные скважины – перехватывающие скважины – скважины промплощадки СЦКК – р. Селенга – Байкал.

В результате просачивания сточной воды прудов ЗШШО через 4-метровый слой золы и дно отстойника формируется купол загрязнённых вод, который обнаруживается по индикаторным элементам в наблюдательных скважинах ЗШШО. Пульпа выделяется по высоким концентрациям сульфатов и минерализации.

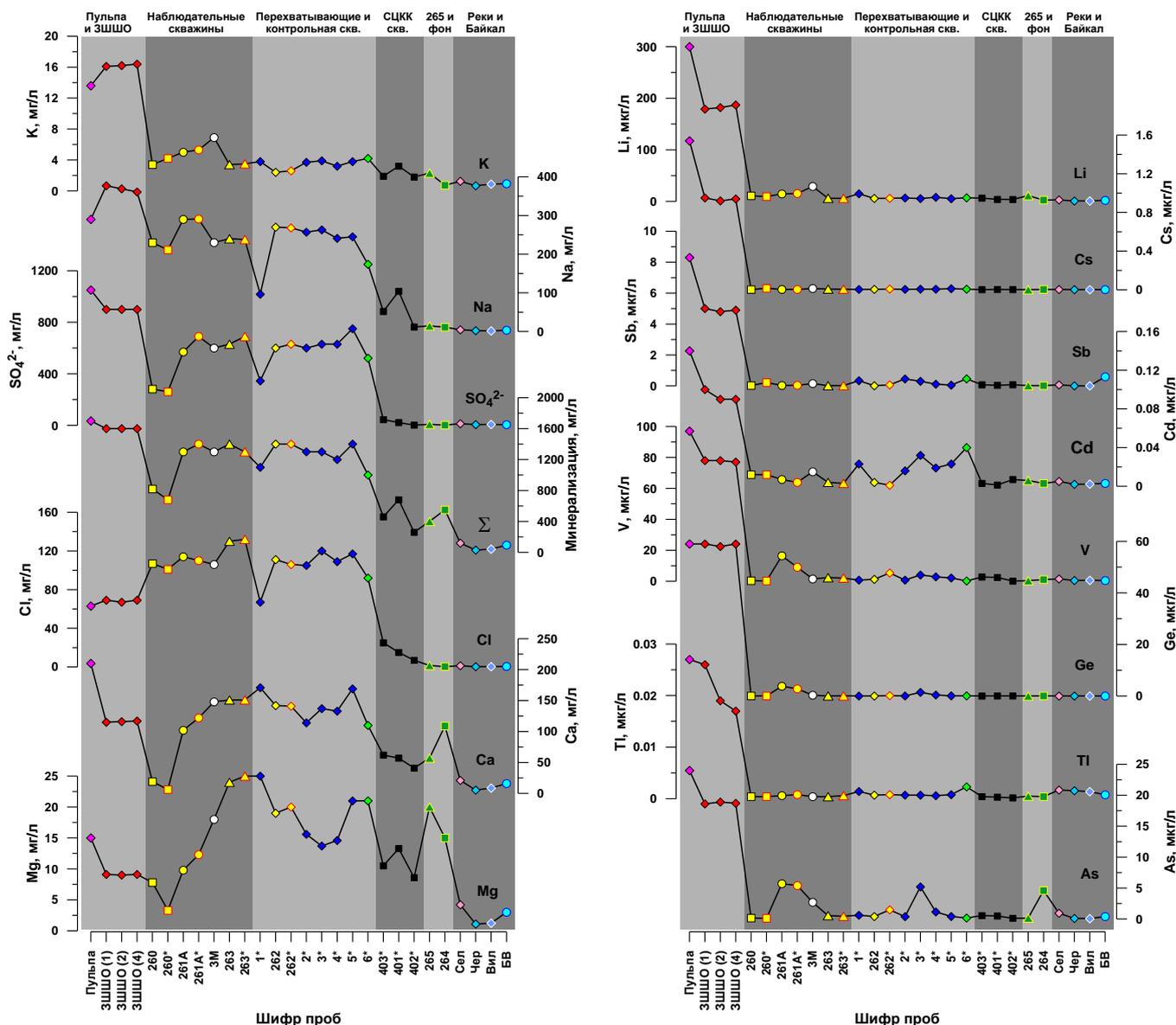


Рис. 4. Минерализация, концентрации главных и некоторых следовых химических элементов в воде пульпы, резервуара ЗШШО, скважин на территории ЗШШО и СЦКК, р. Селенги (Сел), р. Чернушки (Чер), р. Вилуйки (Вил) и оз. Байкал (БВ). Шифры, помеченные символом \* (звёздочка) – пробы, отобранные в октябре 2016 г., остальные – пробы, отобранные в мае 2016 г.

В воде прудов ЗШШО накапливается калий, натрий, сульфаты. Анализ воды в наблюдательных скважинах показывает, что в подземном куполе формируются хлоридно-сульфатные натрий-калиевые загрязнённые воды. Особенно наглядно распределение хлоридов. Хлорид-ион не сорбируется на зольном субстрате, поэтому в подземных водах возле отстойника наблюдается максимальная концентрация хлоридов. Именно хлор является показателем формирования купола загрязнённых подземных вод под отстойником. Концентрации K, Na,  $SO_4^{2-}$ , Cl в загрязнённом подземном горизонте превышают концентрации этих элементов в фоновых скважинах, р. Селенге и её притоках (р. Чернушка, р. Вилуйка).

На промплощадке СЦКК в период создания замкнутого водооборота в 1990 г. были устранены протечки в цехах комбината, поэтому в скважинах промплощадки (401, 402, 403) не обнаруживаются повышенные концентрации химических элементов, характерных для технологических процессов.

Кальций и магний отражают относительный вклад фоновых кальций-гидрокарбонатных вод, поступающих в подземные горизонты под ЗШШО со стороны южных предгорий. Эти потоки, смешиваясь с водой купола загрязнённых вод, переносят хлоридно-сульфатное загрязнение, расширяя площадь влияния ЗШШО на подземные воды.

Элементный состав воды перехватывающих скважин (№№2-5, рис. 3) свидетельствует о том, что они находятся в краевом продвигающемся

фронте загрязнённых вод. Откачка воды из этих скважин может обеспечить сокращение нагрузки на окружающую среду. Новая наблюдательная скважина (№6, контрольная, рис. 3) находится в краевой зоне загрязнения и анализ состава её воды в период действия перехватывающих скважин поможет отслеживать эффективность системы предотвращения загрязнения в направлении р. Селенги.

Концентрации большинства химических элементов в пульпе не превышают величин ПДК для воды питьевого [5], хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [6]. Исключения составляют Li (10 ПДК), В (13 ПДК), Al (13 ПДК [6]) Na (1,5 ПДК), S (2 ПДК), Mn (4 ПДК), As (2,4 ПДК [6]), Sb (1,7 ПДК [6]) и Ba (1,2 ПДК [5]). Такие следовые элементы как Li, Cs, Sb, Cd, V, Ge, Tl, As (рис. 4), Al, Ga, Hg (на рис. 4 не показаны), присутствующие в пульпе и в воде ЗШШО в относительно небольших количествах, сорбируются 4-метровым слоем золы и в наблюдательных скважинах находятся в очень низких концентрациях, сопоставимых с их концентрацией в р. Селенге, её притоках и оз. Байкал.

Такие зольные элементы как бор и стронций в скважинах дают некоторое повышение концентраций. Бром сходен с поведением хлора и является показателем формирования купола загрязнённых подземных вод под ЗШШО. Повышенные концентрации марганца в скважинах отражают снижение окислительно-восстановительных потенциалов среды.

ЗШШО, промплощадка СЦКК, КОС и др. объекты комбината обрамляются реками Вилюйка и Чернушка, впадающими в р. Селенгу. Состав воды этих притоков по направлению от среднего течения к устью не претерпевает изменений по всем элементам, что свидетельствует об отсутствии

влияния комбината на речной сток. Содержание большинства макроэлементов (Na, Mg, S, Cl, K, Ca) в воде р. Селенга больше, чем во впадающих в неё левых притоков.

По элементному составу вода из скважин частного сектора п. Брянска отличается как от других типов подземных вод (как фоновых, так и загрязнённых), так и между собой (в западной части посёлка выше концентрации Na, Mg, S, Cl, K, Ca и ряда микроэлементов, по сравнению с восточной), что указывает на сложный характер их формирования и возможное влияние газовых выбросов ТЭЦ и цехов СЦКК, поскольку посёлок расположен в санитарно-защитной зоне.

Кластерный анализ всех типов поверхностных и подземных вод территории наглядно показал степень загрязнённости вод от антропогенных факторов. На крайних противоположных ветвях кластерной диаграммы (рис. 5) расположены две группы вод: 1) Байкал, р. Селенга и впадающие в неё притоки, незагрязнённые фоновые участки подземных вод и слабозагрязнённые подземные воды на промплощадке СЦКК; 2) пульпа и вода ЗШШО – наиболее загрязнённые воды. Наблюдательные и перехватывающие скважины, имеющие промежуточную степень загрязнения, формируют отдельную группу, примыкающую к кластеру «Пульпа-вода ЗШШО». Состав воды контрольной скважины отражает граничную зону загрязнения и, в случае работы предполагаемой сети перехватывающих скважин, будет отражать степень очистки подземных вод. Возвращение откаченных подземных вод из купола загрязнения в замкнутый водооборот комбината компенсирует водопотери, снизит объёмы подкачки воды из р. Селенги и позволит восстановить стабильность работы бессточного режима СЦКК.

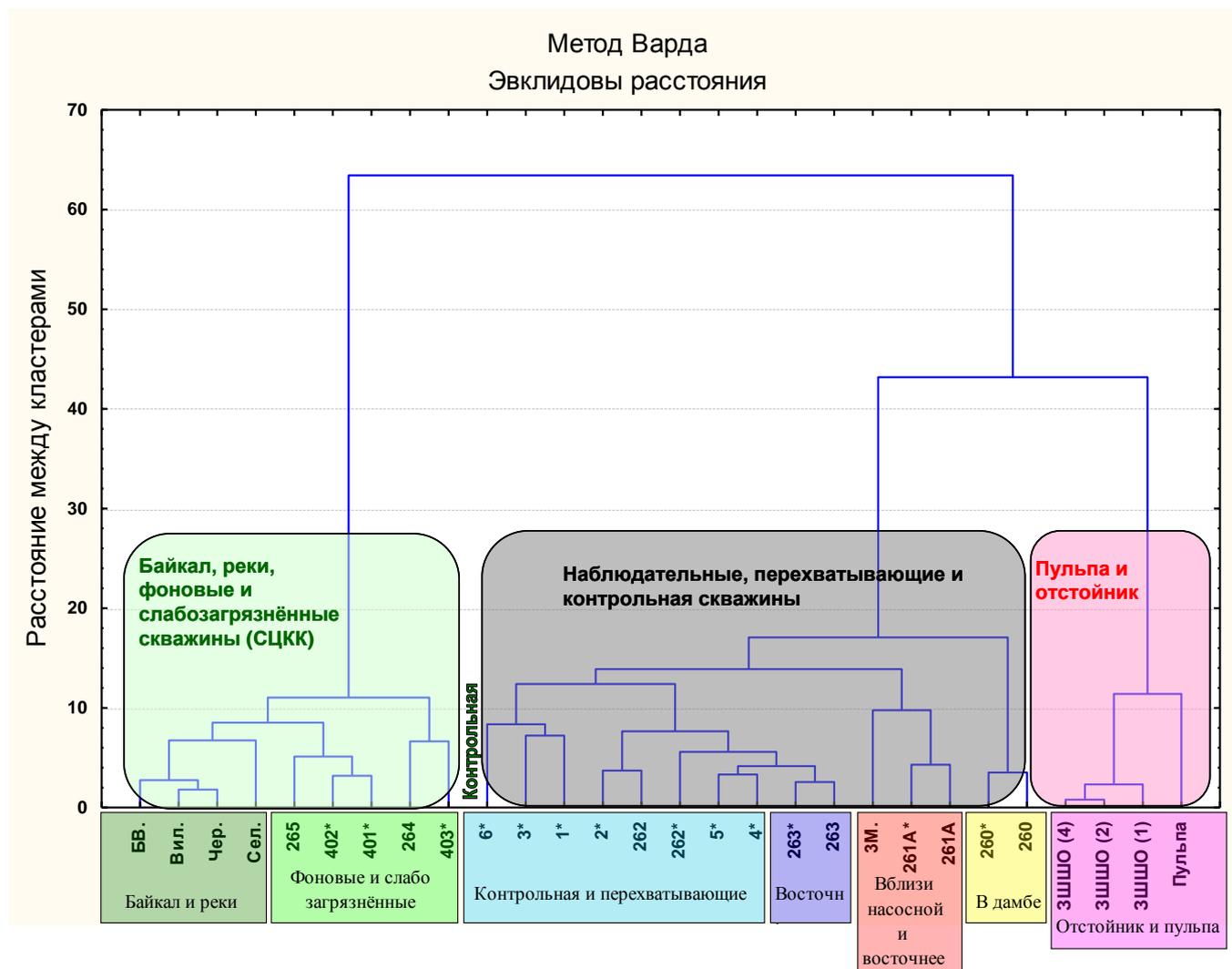


Рис. 5. Кластерная диаграмма элементарных составов воды пульпы, резервуара ЗШШО, скважин на территории ЗШШО и СЦКК, р. Селенги, р. Чернушки, р. Вилкойки и оз. Байкал. Для сравнения взяты концентрации 45 надёжно измеряемых химических элемента, а также минерализация. Кластерный анализ выполнен методом Варда (Эвклидовы расстояния) с помощью программы Statistica 8.0.

Шифры, помеченные символом \* (звёздочка) – пробы, отобранные в октябре 2016 г., остальные – пробы, отобранные в мае 2016 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ландшафтно-геохимические исследования показали наличие купола загрязнённых вод под ЗШШО, распространяющегося в северо-восточном направлении на небольшое расстояние (до 1 км, рис. 2, 3). Загрязнённые подземные воды не доходят до промплощадки СЦКК и п. Брянска, не оказывают влияния на поверхностный сток обрамляющих рек (Вилкойка, Чернушка). Обводнённые грунты находятся на глубине 7-15 м. Пробуренные

перехватывающие скважины удачно попадают в зону обводнённых грунтов и могут быть эффективно использованы для откачки загрязнённых стоков и последующего их возвращения в замкнутый водооборот СЦКК. Предложенное решение проблемы протечки ЗШШО и устранения угрозы загрязнения р. Селенги и оз. Байкал с помощью сети перехватывающих скважин восстановит стабильность функционирования бессточного производства на СЦКК.

### Литература

1. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. 3 изд., переработанное и дополненное. М.: Недра, 1991. 358 с.
2. Матвеев Б.К. Интерпретация электромагнитных зондирований, М.: Недра, 1974. 232 с.
3. Марченко М.Н., Модин И.Н. Вертикальное электрическое зондирование: Учебное пособие для студентов обучающихся по направлению «Геология», М.: МГУ, 2013. 28 с.

4. Чебыкин Е.П., Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Воднева Е.Н., Рассказов С.В., Ходжер Т.В., Грачёв М.А. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20. №5. С. 613 – 631.

5. Вода. Санитарные правила, нормы и методы безопасного водопользования населения. Сборник документов. 2-е изд., переработанное и дополненное / Составители: Ю.А. Рахманин, З.И. Жолдакова, Г.Н. Красовский. М.: «ИнтерСЭН», 2004. 768 с.

6. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27 апреля 2003 г.) Дата введения: 15 июня 2003 г.

#### References

1. Jakubovskij Ju.V., Renard I.V. Jelektrozrazvedka. 3 izd., pererabotannoe i dopolnennoe. M.: Nedra, , 1991. 358 s.

2. Matveev B.K. Interpretacija jelektromagnitnyh zondirovanij, M.: Nedra, 1974. 232 s.

3. Marchenko M.N., Modin I.N. Vertikal'noe jelektricheskoe zondirovanie: Uchebnoe posobie dlja studentov obuchajushhhsja po napravleniju «Geologija», M.: MGU, 2013. 28 s.

4. Chebykin E.P., Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Vodneva E.N., Rasskazov S.V., Hodzher T.V., Grachjov M.A. Sovremennoe sostojanie vod r. Selengi na territorii Rossii po glavnym komponentam i sledovym jelementam // Himija v interesah ustojchivogo razvitija. 2012. Т. 20. №5. S. 613 – 631.

5. Voda. Sanitarnye pravila, normy i metody bezopasnogo vodopol'zovanija naselenija. Sbornik dokumentov. 2-e izd., pererabotannoe i dopolnennoe / Sostaviteli: Ju.A. Rahmanin, Z.I. Zholdakova, G.N. Krasovskij. M.: «InterSJeN», 2004. 768 s.

6. Gigienicheskie normativy GN 2.1.5.1315-03 "Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v vode vodnyh ob#ektov hozjajstvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovanija" (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 27 aprelja 2003 g.) Data vvedenija: 15 ijunja 2003 g.

*Chebykin E.P., Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer,  
Minaev A.V., Acting Head of the Department of Innovation Activities,  
Dambinov Yu.A., Postgraduate,  
Khakhuraev O.A., Postgraduate,  
Suturin A.N., Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences (Ph.D.), Head of Laboratory,  
Limnological Institute SB RAS*

#### LANDSCAPE-GEOCHEMICAL STUDIES OF THE ZONE OF INFLUENCE OF SELENGINSK PULP AND CARDBOARD PLANT TO THE ENVIRONMENT

**Abstract:** the integrated landscape-geochemical studies revealed a zone of polluted underground waters on the territory adjacent to the ash-sludge-slag pond of the Selenginsk Pulp and Cardboard Plant. A network of intercepting holes is designed, this will allow to resolve the problem of pollution of underground horizons and to prevent the income of chloride-sulphate waters into the Selenga River and then to Lake Baikal.

**Keywords:** Selenginsk Pulp and Cardboard Plant, the Selenga River, Lake Baikal, underground waters pollution, landscape-geochemical studies